

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**RESPUESTA EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y PARAMETROS
REPRODUCTIVOS DE BECERROS SIMMENTAL Y SIMBRAH A UNA ALTA
SUPLEMENTACIÓN DE MICRO-MINERALES.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIA ANIMAL**

PRESENTA

KASSANDRA SANJUANITA HERNÁNDEZ GAYTÁN

General Escobedo, Nuevo León , México.

Diciembre, 2020

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIA ANIMAL

DIRECCIÓN DE TESIS



Ph. D. Jorge R. Kawas Garza
Director



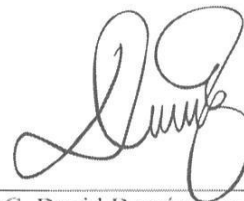
Ph. D. Denisse Garza Hernández
Asesor



M.C. Nelson Manzanares Miranda
Asesor



Ph. D. Miguel Ángel Camacho Aranda
Asesor Externo



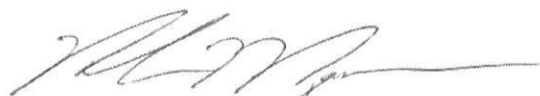
M.C. David Domínguez Díaz
Asesor Externo

RESPUESTA EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y PARAMETROS
REPRODUCTIVOS DE BECERROS SIMMENTAL Y SIMBRAH A UNA ALTA
SUPLEMENTACIÓN DE MICRO-MINERALES

COMITÉ DE TESIS



Ph. D. Jorge R. Kawas Garza
Director



M.C. Nelson Manzanares Miranda
Secretario



Ph. D. Denisse Garza Hernández
Vocal

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir esta experiencia lado de mis seres queridos, guiarme día a día en cada situación que enfrento y ayudarme para poder lograrlo.

A mis padres Idalia y José, que me apoyan en cada etapa de mi vida, y se esfuerzan en todas las formas posibles en apoyarme para que yo pueda cumplir mis sueños, sin ustedes yo no lo habría logrado.

A mi hermana Katty Hernández, que admiro infinitamente de manera en que se ha convertido en mi guía y ejemplo a seguir, por ayudarme, aconsejarme y ser parte de esta etapa desde inicio hasta el fin.

A mi hermano L. Kalel Hernández, que me acompaña en las noches de estudio, y me ayuda a ser mis días más ligeros y felices, por siempre cuidarme y pensar en mí.

A mi mejor amigo y alma gemela Julio Perales, que ha sido mi respiro en momentos de estrés, mi alivio a mis dolores de cabeza, y un comodín para ayudarme a solucionar mis problemas. Este logro es de ustedes así como mío, sin su apoyo no sería posible.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis D.P.h Jorge Kawas Garza, por darme la oportunidad de trabajar con usted, y ser mi maestro todos los días. Agradezco la confianza que deposito en mí, y haber apostado por este trabajo.

A mi asesor D.P.h Miguel Camacho,

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRAC.....	ix
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Características de la raza Simmental y Simbrah.....	3
2.2. Suplementación mineral.....	5
2.3. Antagonismos.....	7
2.4. Calidad del agua de bebida.....	7
2.5. Requerimientos de minerales recomendados por la NRC 2016.....	9
2.6. Toxicidad por microminerales en bovinos.....	13
2.7. Importancia de los microminerales en la reproducción.....	15
2.7.1. <i>Selenio</i>	16
2.7.2. <i>Cobre</i>	17
2.7.3. <i>Zinc</i>	18
2.7.4. <i>Manganeso</i>	19
2.8. Importancia de los microminerales en el desempeño productivo.....	21
2.8.1. <i>Selenio</i>	21
2.8.2. <i>Cobre</i>	22
2.8.3. <i>Zinc</i>	23

2.8.4. <i>Manganeso</i>	24
2.8.5. <i>Cobalto</i>	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Ubicación del estudio.....	27
3.2. Características de los animales y diseño experimental.....	27
3.3. Obtención de datos de las variables a evaluar	29
3.3.1. <i>Análisis fisicoquímico y mineral de agua de bebida</i>	29
3.3.2. <i>Ganancia diría de peso (GDP)</i>	30
3.3.3. <i>Conversión alimenticia (CA)</i>	30
3.3.4. <i>consumo residual de alimento (RFI)</i>	31
3.3.5. <i>Determinación del rendimiento de la canal mediante ultrasonografía</i>	31
3.3.6. <i>Determinación de concentraciones de minerales en suero</i>	32
3.3.7. <i>Concentraciones de testosterona en plasma bovino</i>	34
3.3.8. <i>Circunferencia escrotal</i>	35
3.3.9. <i>Evaluación del parénquima testicular por medio de ultrasonografía</i>	36
3.3.10. <i>Análisis de semen asistido por computadora (CASA)</i>	38
3.4. Análisis estadístico	41
4. RESULTADOS	42
4.1. Calidad del agua	42
4.2 Comportamiento productivo	44
4.2.1. <i>Concentraciones de microminerales en suero</i>	43
4.3. Variables reproductivas.....	47
4.3.1. <i>Circunferencia escrotal</i>	47

4.3.2. Evaluación el eyaculado	47
4.3.3. Evaluación del parénquima testicular	48
4.3.4. Concentraciones de testosterona en plasma bovino	49
5. DISCUSIÓN	51
5.1. Calidad del agua de bebida	51
5.2. Desempeño productivo de los becerros Simmental y Simbrah.....	51
5.3. Desempeño reproductivo de los becerros Simmental y Sumbrah	53
6. CONCLUSIONES	56
7. REFERENCIAS	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Ración base para becerros Simmental y Simbrah.....	28
2	Mezclas bases utilizadas en el estudio.....	29
3	Análisis fisicoquímico y mineral del agua de bebida.....	43
4	Desempeño productivo y comportamiento de la canal.....	45
5	Concentraciones de minerales en suero bovino.....	46
6	Circunferencia escrotal de becerros Simmental y Simbrah.....	47
7	Evaluación del eyaculado de becerros Simmental y Simbrah.....	48
8	Desarrollo testicular medido mediante ultrasonido de tratamiento de Simmental y Simbrah, con bajos y altas concentraciones de microminerales en la dieta.....	49
9	Concentraciones de testosterona en plasma bovino.....	51

INDICE DE FUGURAS

Figura	Página
1	Registro de peso de los animales en corral de manejo, utilizando una báscula portátil Gallegher.....
2	Comederos con sistema GrowSafe.....
3	Posiciones de referencia para la toma de muestras. Posición 1: AOL y GD; Posición 2: GI; Posición 3: GC.....
4	Muestra de suero tomada de tubo endorff.....
5	Fotografía del ICP-OES Perkin Elmer Optima 2000 DV.....
6	Kit Testosterona ELISA 6001012, MexLab México.....
7	Espectrofotómetro de microplacas Epoch.....
8	Uso de la cinta métrica para el registro de la circunferencia escrotal....
9	Evaluación del parénquima testicular en el eje horizontal (A) y vertical (B).....
10	Áreas evaluadas de ultrasonografía de manera transversal (A) y vertical (B), por medio del programa ImageJ.....
11	Limpieza del área del prepucio, previo a la colección de la muestra....
12	Electroeyaculador Pulsator IV, utilizados en becerros de experimento...
13	Captura de muestra de eyaculación tomada desde el sistema SCA.....
14	Análisis de calidad de semen en el Centro de Biotecnología Reproductiva

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la suplementación de Cu, Co, Zn, Se y Mn en concentraciones mínimas recomendadas por el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council; NRC, 2016) y altas concentraciones de estos microminerales, en el desempeño productivo y las variables reproductivas de becerros de las razas Simmental y Simbrah. Treinta y tres becerros con una edad promedio de 9 meses y peso promedio de 270 ± 7.2 kg, fueron distribuidos en cuatro tratamientos en un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2×2 (dos razas y dos concentraciones de microminerales). Los tratamientos fueron (1) Simmental con bajas concentraciones de microminerales (BM); (2) Simmental con altas concentraciones de microminerales (AM); (3) Simbrah con BM; y (4) Simbrah con AM. Todos los becerros fueron alimentados con sus respectivas dietas durante un periodo de 83 días. El consumo diario de alimento de cada becerro fue registrado y medido usando el sistema GrowSafe, y estos fueron pesados cada 14 días para determinar la ganancia diaria de peso (GDP). Los consumos de materia seca (CMS), la conversión alimenticia (CA) y el consumo residual de alimento (RFI) fueron calculados. Becerros suplementados con AM tuvieron mayores ganancias diarias de peso ($P < 0.046$) y mejor conversión alimenticia ($P = 0.043$). Los becerros de raza Simmental tuvieron un menor grosor de grasa de la cadera ($P = 0.021$) que becerros de raza Simbrah. No se obtuvieron diferencias ($P > 0.05$) en las concentraciones de cobre y zinc en suero entre becerros Simmental y Simbrah. Se observó un mayor desarrollo testicular en becerros de la raza Simmental que en becerros Simbrah ($P < 0.05$) y con la suplementación de altas concentraciones de minerales traza ($P < 0.001$). Las concentraciones de testosterona fueron mayores en muestras del día 17 para becerros de la raza Simmental ($P = 0.015$), y el día 45 para becerros consumiendo las altas concentraciones de microminerales.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of supplementing Cu, Co, Zn, Se y Mn in minimum concentrations recommended by the NRC (2016) and high concentrations of these elements on productive performance and reproductive variables of Simmental and Simbrah calves. Thirty calves of both breeds with an average age of 9 months and an average weight of 270 ± 7.2 kg, were distributed in four treatments in a completely random design with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments (two breeds and two micromineral concentrations). Treatments were (1) Simmental with low micromineral concentrations; (2) Simmental with high micromineral concentrations; (3) Simbrah with low micromineral concentrations; and (4) Simbrah with high micromineral concentrations. All the calves were fed their respective diets during a period of 83 days. Daily feed intake of each bull calf was measured using the Growsafe system. Individual daily feed intake of each calf was registered, and calves were weight every 14 days to determine daily weight gain. Dry matter intake, feed conversion and residual feed intake (RFI) were calculated. Bull calves supplemented high micromineral concentrations had greater daily weight gains ($P < 0.046$) and better feed conversions ($P = 0.043$). Simmental calves had less hip fat thickness ($P = 0.021$) than Simbrah calves. No differences ($P > 0.05$) in copper or zinc blood serum concentrations were observed between Simmental and Simbrah breeds. At the end of the study, a greater testicular development was observed for Simmental than for Simbrah calves ($P < 0.001$) and with the supplementation of high micromineral concentrations ($P < 0.001$). Testosterone concentrations were greater for Simmental calves on day 17 ($P = 0.015$) and for calves fed the high micromineral concentrations on day 45 ($P = 0.003$).

1. INTRODUCCIÓN

La suplementación mineral tiene gran impacto en los sistemas de producción pecuaria debido a sus efectos beneficios en el crecimiento y la reproducción del ganado (Rust, 1993; Malcom-Callis et al., 2000). Estos efectos en el macho incluyen una menor edad a la pubertad, mejor calidad del semen y fertilidad del macho (Rahman et al., 2004). Además, los minerales han sido asociado con un mejor desempeño productivo y un mayor rendimiento de la canal en bovinos (Brown y Arthur, 2001). Esto debido a que los minerales son nutrientes esenciales para múltiples procesos bioquímicos del cuerpo, incluyendo la respuesta inmune, la espermatogénesis y el metabolismo de los lípidos (Bjorndahl y Kvist, 2010; Lee et al., 2002).

Consecuentemente, es importante satisfacer los requerimientos de minerales del ganado. Sin embargo, el ganado criado bajo sistemas extensivos de producción que consumen solamente pastos toscos durante el invierno o la época seca, difícilmente llegan a cubrir sus requerimientos mínimos de minerales y otros nutrientes debido a que los minerales y otros nutrientes, por lo son comunes los desbalances y deficiencias de minerales en estas condiciones de pastoreo (McDowell et al., 1996).

Según Underwood et al. (1999), existe la posibilidad de corregir las deficiencias minerales mediante una adecuada suplementación, sin embargo, se debe tomar en cuenta dos factores: (1) la dosis de cada mineral a suplementar deberá ser calculada considerando el contenido de estos elementos en los pastos, en relación con los requerimientos del animal en su etapa fisiológica, considerando posibles deficiencias e interacciones con otros minerales; y (2) considerar la biodisponibilidad biológica y solubilidad del mineral, que dependerá del origen o fuente que se utilice.

Con el objetivo de mejorar la producción animal, y utilizando la suplementación mineral como una de las estrategias para llegar a ello, distintos autores evaluaron concentraciones mayores de microminerales y su efecto en la producción del ganado (Liu et al., 2013; Engle et al., 2000a; A. R. Rhoads et al., 2003). Engle et al. (2000b) obtuvieron un aumento en la grasa dorsal y niveles de ácidos grasos insaturados en el musculo Longissimus de bovinos al aumentar las concentraciones de Cu en la dieta de 10 a 40 mg/kg de MS. Sin embargo, existen otros autores que no obtuvieron mejores resultados al aumentar las

concentraciones de los microminerales en la dieta (Ward y Spears, 1997; Manzanares-Miranda et al., 2015; Legleiter et al., 2005). Debido a esto, es importante determinar el beneficio de la suplementación de altas concentraciones de microminerales en la producción y reproducción de becerros productores de carne.

Según distintas investigaciones, existen diferencias en los requerimientos de minerales entre las razas Bos Taurus (NRC, 2016). En algunos estudios se ha observado un mayor requerimiento del cobre para la raza Simmental, debido a una mayor excreción biliar (Ward et al., 1995), y un menor desempeño productivo con la concentración de cobalto (Schwartz et al., 2000) considerando las concentraciones mínimas de estos microminerales recomendados por la NRC (2000). Existe poca investigación sobre los requerimientos específicos para la raza Simmental y su comportamiento productivo y reproductivo bajo una suplementación con distintas concentraciones de microminerales (NRC, 2016).

Debido a esto se optó por comparar los requerimientos mínimos recomendados por el NRC (2016) con las concentraciones de microminerales utilizados comúnmente en los confinamientos de ganado de EUA (Samuelson et al., 2016).

Objetivo

- Evaluar el efecto de dos concentraciones de microminerales (altas y bajas) en la dieta de becerros Simmental y Simbrah en el desempeño productivo y reproductivo.
- Evaluar la circunferencia escrotal y la ecogenicidad de los becerros.
- Evaluar la concentración de testosterona en plasma de los becerros.
- Evaluar la calidad de semen eyaculada por los becerros.

Hipótesis

Los becerros prospectos para sementales, suplementados con alta concentración de microminerales en la dieta, tendrán un mejor desempeño productivo y reproductivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de la raza Simmental y Simbrah

La introducción de las razas Simmental y Simbrah en México, consideradas como razas de doble propósito, fue debido a su alta producción de leche y su capacidad génica para producción de carne (Manzanares-Miranda et al., 2015; Persie et al., 2009). La raza Simmental tiene origen desde inicios de la edad media en las montañas de Berna, Suiza, y ha logrado expandirse por todo el mundo llegando a tener una población mundial de 41 millones de animales (Persie et al., 2009). El ganado Simmental de raza pura y sus cruza, fácilmente se han adaptado a las condiciones climáticas de México (Rosales-Alday et al., 2004). Actualmente se busca mejorar la raza Simmental mediante evaluaciones genéticas y productivas (Rosales et al., 2004).

Varios estudios han demostrado que una de las características principales del ganado Simmental es su desarrollo reproductivo a temprana edad, concluyendo que la raza Simmental tiene un mayor desarrollo testicular temprano en comparación a otras razas *Bos Taurus* (Coulter y Keller 1981). En el estudio de Walter et al. (1995), se evaluaron las variables reproductivas de toros Herford y Simmental, en el cual se obtuvo una mayor circunferencia escrotal, eyaculación más concentrada, mayor producción diaria de espermatozoides y mayores reservas extragonadales de espermatozoides en toros de la raza Simmental. Por otro lado, Coulter y Keller, (1981) evaluaron la relación de la circunferencia escrotal de varias razas a dos años de edad, encontrando que la raza Simmental obtuvo un mayor crecimiento testicular (37.7 ± 0.2 cm), en comparación con otras razas *Bos Taurus*.

Los requerimientos nutricionales de la raza Simmental, es una de las características que ha estado tomando mayor importancia, debido a que estudios recientes revelan un mayor requerimiento de algunos microminerales en comparación a otras razas *Bos Taurus* (NRC, 2016). En un estudio de Gooneratne et al. (1994), se estudió el requerimiento de cobre de ganado Simmental y Angus, concluyendo que la raza Simmental tenía un mayor requerimiento de cobre debido a una mayor excreción biliar de este elemento. Posteriormente, Ward et al. (1995) reportó que las vaquillas de las razas Simmental y

Charoláis junto con sus terneros, son más susceptibles a una deficiencia de Cu, en comparación con vaquillas de la raza Angus. Por otro lado, Schwarz et al. (2000) reportaron un bajo desarrollo del ganado Simmental consumiendo una dieta con la concentración de cobalto recomendada por el NRC (2000). En esta edición de la NRC (2000), la concentración mínima de cobalto recomendada era de 0.1 ppm. Actualmente, el requerimiento de cobalto ha sido aumentado a 0.15 ppm para todas las razas (NRC, 2016).

A finales de los años 60's en el sur de Texas, EUA comenzó a desarrollarse la raza Simbrah, sin embargo, fue hasta inicios de los años 80's cuando dio inicio las importaciones del ganado Simbrah de EUA a México (Shabtay, 2015). La raza Simbrah se caracteriza por ser “compuesta”, 5/8 de sangre Simmental y 3/8 de sangre Brahman (O'Connor et al., 1997). Los objetivos que se buscaban en el cruzamiento con la raza Brahman era una mayor tolerancia al clima cálido y mayor resistencia a los parásitos (Wyatt et al., 2002).

Los animales de esta raza son considerados como talla moderadamente grande debido al peso de los becerros al destete y un mayor peso de la canal en comparación con otras razas de compuestas y puras (Bidner et al., 2002). Sin embargo, estudios afirman un menor desarrollo productivo del ganado Simbrah, con una menor ganancia diaria de peso en comparación a otras razas puras (Renand et al., 1998; Manzanares-Miranda et al., 2015).

Existen otras variables que se deben ser consideradas en la selección de novillos para mejorar la genética y la producción, por ejemplo, el peso corporal, la altura a la cruz, la circunferencia escrotal, pruebas de fertilidad y características de la composición corporal medidas usando ultrasonido (Manzanares-Miranda et al., 2015b). Sin embargo, existen investigaciones donde no se presentaron diferencias significativas en la composición de la canal (área del ojo de la costilla, grasa dorsal, grasa intramuscular, tamaño corporal) entre las razas Simbrah y Simmental (Manzanares-Miranda et al., 2015).

Una de las ventajas de la raza Simbrah es su menor temperamento ($P < 0.05$) en comparación de otras razas compuestas (curzas *Bos indicus* con *Bos Taurus*) (Voisinet et al., 1997). Debido a esto, se cree que la raza Simbrah tiene un mejor desarrollo productivo que otras razas compuestas y puras, ya que las razas con menor temperamento (1-2), tienden a tener una mayor ganancia diaria de peso (Voisinet et al., 1997). El temperamento de los animales es considerado como una característica altamente hereditaria (Voisinet et al., 1997).

2.2. Suplementación mineral

Bajo sistemas de producción extensiva, los minerales y otros nutrientes son obtenidos únicamente por el forraje consumido, por lo que las deficiencias de minerales es un escenario común del ganado en pastoreo (McDowell, 1996). Cubrir los requerimientos de minerales puede llevarse a cabo mediante dos métodos, indirecto y directo. Como método indirecto se puede mencionar la alteración del pH del suelo o fertilizar con minerales (Greene, 2000). Sin embargo, dicha alteración puede ayudar o perjudicar la calidad del suelo, ya que el pH del suelo influye en el mejoramiento de absorción para la planta de algunos de minerales como el selenio (Se) y el molibdeno (Mo), pero afecta la absorción de cobre (Cu) y cobalto (Co) (McDowell, 1996) disminuyendo su concentración en follaje. Por otro lado, en los métodos de aplicación directa se incluyen: adición de minerales en el agua, suplementación oral y/o parental de microminerales, bolos ruminales, alimentación forzada en proteínas y/o energía, y de libre acceso (Greene, 2000).

El programa de una suplementación mineral para el ganado puede variar desde grandes cantidades de sal, hasta una formulación de minerales (fuentes orgánicas y/o inorgánicas), lo cual dependerá de un estudio previo del entorno ambiental, prácticas de manejo, genética y tipo de forraje (Greene, 1999). Se ha demostrado que al ofrecer un suplemento mineral para cada una de las etapas del ganado (crecimiento, inmunidad, reproducción y lactancia) se logra mantener una producción a largo plazo (Corah e Ives, 1991; Ansotegui et al., 1994).

Sin embargo, es difícil llegar a cubrir los requerimientos debido a los siguientes factores: 1) cambios en los requerimientos según la etapa fisiológica de los animales, 2) desequilibrio de minerales en el consumo de forraje y 3) falta de control en suministro del suplemento de minerales para cada uno de los animales (Greene, 1999).

En la producción extensiva, los animales en pastoreo sin suplementación mineral tienen requerimientos que son proporcionados únicamente mediante el forraje consumido, el cual depende de muchos factores para su composición mineral, por ejemplo: tipo de suelo, etapa fisiológica de la planta, condiciones climáticas y uso de fertilizantes, por lo que tienden a tener desbalance y deficiencias de minerales (Brandy, 1974; Greene et al., 1987; Mayland y Grenne, 1990; McDowell, 2003).

Actualmente se toma en cuenta disponibilidad de microminerales como la biodisponibilidad y el coeficiente de absorción para una mayor exactitud en la suplementación (Patiño et al., 2012). La biodisponibilidad toma en cuenta la interacción de la concentración de los minerales en sangre o hígado, así como los resultados productivos de cada micromineral evaluado, mientras tanto, el coeficiente de absorción o digestión se determina mediante las concentraciones en alimento y heces (Charles et al., 2003).

La biodisponibilidad del mineral puede depender de distintos factores, por ejemplo, alteraciones del pH en el abomaso (Spears, 2003), e interacción con otros minerales (antagonistas) que llegan a disminuir su absorción (Underwood, 1999).

La digestión de minerales por otro lado varía de los no rumiantes a los rumiantes, debido a la cantidad de fibra que se encuentra en la dieta de estos últimos, la cual alimenta la fermentación microbiana en el rumen, en donde se realiza unión de minerales con fracciones de fibra no digerible, pudiendo afectar la biodisponibilidad de los minerales, en el tracto gastrointestinal, (Whitehead et al., 1985). Sin embargo, una gran parte de los minerales permanecen insolubles en el rumen debido a su ambiente ligeramente ácido con un pH de 6.0 a 6.8 (Waghorn et al., 1990).

Se ha previsto la importancia de concentraciones mayores de los microminerales, debido a que eventualmente los ingredientes de una dieta para ganado de engorda, o el pasto para animales en pastoreo, no cumple con las cantidades necesarias, además de contener antagonistas que llegan a disminuir su absorción (Ahola et al., 2005). Por ejemplo, en dietas de ganado de engorda comúnmente se encuentran cantidades menores de Cu, Zn, Mn y concentraciones elevadas de minerales antagonistas de los mismos, los cuales pueden llegar a disminuir su absorción (Ahola et al., 2005).

En estudios recientes, se ha evaluado los efectos de suplementar con Cu, Zn y Mn durante las etapas productivas del ganado, sin embargo, hasta ahora no se han podido determinar los efectos de los minerales individualmente (Ahola et al., 2005).

George et al. (1997) evaluaron la combinación de un suplemento con los minerales Cu, Zn, y Mn, en ganado durante 42 días con tres tratamientos: 1) minerales inorgánicos recomendados por la NRC (1948), 2) minerales orgánicos recomendados por la NRC (1984) y 3) minerales orgánicos tres veces mayores a los recomendados por la NRC (1984), donde existió un aumento significativo ($p < 0.05$) de ganancia diaria de peso, con el tratamiento 3.

2.3. Antagonismos

Cuando se quiere aplicar un programa de suplementación mineral, se deben tomar en cuenta los antagonismos en la formulación, es decir, cantidades de minerales y/u otros factores mayores a lo recomendado, que pueden llegar a disminuir la absorción de otros minerales, teniendo interacciones críticas negativas en la suplementación (Greene, 1999).

El Molibdeno (Mo), es considerado como el principal antagonista del Cu, seguido del azufre (S), su acción consiste en la formación de tiomolibdatos en el rumen a partir de Mo y S (Suttle, 1991). Altas concentraciones de Cu en la dieta pueden llegar a ser antagonista del Zn al impedir su completa absorción (NRC, 2016).

En la dieta para ganado, bajas concentraciones de Vitamina E pueden llegar a aumentar las concentraciones de Se, esto debido a sus funciones interdependientes como antioxidantes (Mehdi y Dugrasne, 2015). El azufre en concentraciones de 2.4 g/kg de MS es considerado antagonista del Se debido a una competitividad estérica (Mehdi y Dugrasne, 2015).

Existe poca evidencia sobre factores dietéticos que influyan en la absorción del Mn, sin embargo, en diferentes estudios concluyeron que, en presencia de altas cantidades de P, Ca, y Fe en la dieta, los requerimientos de Mn tienden a aumentar (Dyer et al., 1964; Lassiter et al., 1972; Hansen., 2010; Spears J. W., 2003).

Actualmente existen estudios donde se busca controlar o manejar los antagonismos a favor de la producción animal, buscando el bienestar animal y su óptimo desarrollo (Stanton, 2001).

2.4. Calidad del agua de bebida

Otro de factor importante en el uso de una suplementación mineral, es la calidad de agua (Carson, 2000). El agua es vital para la vida, sin embargo, se encuentra escasa. En la corteza terrestre el 70% se encuentra cubierta de agua, solo el 0.65% es potable y el 2.05% se encuentra congelada, la mayor parte (97.3%) forma parte de océanos y mares, la cual contiene >30 gr/l de Sólidos Disueltos Totales (SDT) (Laggar et al., 2000).

Existen tres fuentes primarias en las cuales los animales obtienen agua; el agua de bebida, el contenido de humedad de la dieta de consumo, y el agua metabólica la cual se forma durante la oxidación de tejidos corporales, proteínas dietéticas, grasas y carbohidratos

(Carson, 2000). Se considera que la ingesta voluntaria de agua de bebida cumple con la necesidad de agua de los animales, sin embargo, la ingesta depende de distintos factores como la temperatura ambiental, especie, edad, raza y etapa de producción del animal (Carson, 2000).

El agua es considerada el nutriente de mayor importancia para el ganado (Carson, 2000). Sin embargo, la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuada, eventualmente es limitada en empresas ganaderas (Carson, 2000). En las explotaciones ganaderas, para obtener una óptima producción y desarrollo, es esencial mantener una buena salud del ganado, para lo cual es necesario el abastecimiento adecuado de agua potable limpia y fresca (Lejeune et al., 2001).

Según distintos autores, al estar presentes sustancias tóxicas en cantidades por encima de lo permitido, puede llegar a disminuir la producción de grasa, carne, huevos, leche, además presentar problemas en la fertilidad y riesgos para la salud humana debido a la ingestión de residuos que puedan estar presentes en productos de origen animal. (Hapke, 2000; Pérez-Carrera, 2005).

La calidad de agua está determinado en distintos parámetros en los cuales se incluyen sabor, color, turbidez, bacterias, y otros organismos, además de minerales, salinidad, compuestos orgánicos y algunos otros componentes naturales y/o químicos (Carson, 2000). Los criterios de calidad del agua para sustancias químicas, varía según diferentes países que establecen los valores máximos, los cuales se encuentran basados en los siguientes parámetros: en la ocurrencia de estos compuestos en aguas superficiales, en la toxicidad para los animales, la región que se encuentre, y por último en la aplicación de criterios de calidad para consumo humano que es ofrecida al ganado (Valente-Campos et al., 2019)

Otro criterio para las concentraciones químicas en el agua es la ingesta diaria de agua por animal, la cual puede depender de las condiciones climáticas, temperatura del agua de bebida, etapa fisiológica del animal, tipo de sistema de producción, características gastrointestinales, y tipo de dieta ofrecida debido a que altos contenidos de sodio y proteína tienden a aumentar el consumo de agua. (Palhares et al., 2017).

En distintos estudios han demostrado que el agua subterránea regularmente contiene altas cantidades de SDT, sales, y sulfatos (NRC, 1996). La cantidad de SDT, define la

salinidad del agua, el cual es uno de los parámetros principales para definir la calidad de agua (Carson, 2000).

La evaluación del agua de bebida debe ser recomendada como parte de una investigación debido a que puede estar relacionada con un rendimiento deficiente y enfermedades el ganado (Carson, 2000). Altas concentraciones de sal en el agua pueden llegar a presentar: menor consumo de agua y alimento, niveles tóxicos consumo de azufre, y deficiencias de minerales (NRC, 1996).

Otra variable en la calidad del agua son las concentraciones de minerales ya que pueden ser antagonistas de la disponibilidad de otros minerales principalmente el hierro y azufre, los cuales afectan la utilización del cobre (McDowell, 1996).

Debido a lo anterior, se presenta la importancia de la suplementación mineral como un corregidor de las posibles deficiencias y/o desbalances nutricionales que puedan estar presentes en los animales (Ahola et al., 2005).

2.5. Requerimientos de minerales recomendados por la NRC 2016

Según las investigaciones recientes, las funciones del selenio (Se) pueden ser cumplidas bajo en concentración de 0.1 mg/kg de MS en la dieta (NRC, 2016). Uno de los principales factores que influye en el consumo del Se es la vitamina E (NRC, 2000). Esto debido a sus funciones interdependientes como antioxidantes (Mehdi y Dugrasne, 2016). Una dieta con bajas concentraciones de vitamina E, puede llegar a aumentar las concentraciones del Se (Mehdi y Dugrasne, 2016).

Distintos autores mencionan signos clínicos y subclínicos debido a una deficiencia de Se presentados en vacas y terneros, bajo una alimentación con 0.02 y 0.05 mg/kg de Se de MS (Hidroglou et al., 1985; Spears J. R. et al., 1986). Por otro lado, en el estudio de Reffett et al. (1988) se evaluó el comportamiento de terneros en confinamiento durante largo periodo, bajo una dieta con concentración de 0.02 y 0.03 mg/kg de Se de MS, los cuales no presentaron signos clínicos por deficiencias.

En situaciones de una deficiencia de selenio en el ganado, es comúnmente la presencia de una degeneración y/o necrosis en el músculo esquelético y cardíaco, lo cual lleva por nombre la enfermedad del músculo blanco (Underwood & Suttle, 1999). Los

principales signos en animales bajo una deficiencia por selenio son: insuficiencia cardiaca, rigidez y cojera, sin embargo, existen otros en los cuales se ha investigado, como menor productividad del animal, debido a diarrea, pérdida de peso, anemia, y alto porcentaje de mortandad (Underwood E. & Suttle, 1999; Spears et al., 1986; Morris et al., 1984).

En distintos estudios se relaciona la deficiencia del Se con la aparición de signos clínicos, por ejemplo: una disminución de yodorrionina 5'-desiodinasa, la cual conlleva un menor crecimiento, menos actividad de la enzima glutatión peroxidasa por la cual inicia la aparición de la enfermedad del musco blando, anemia del cuerpo de Heinz, entre otros (NRC, 2016).

Existe una gran variedad de recomendaciones del cobre para el ganado, la cual depende de la presencia del molibdeno (Mo) y azufre (S) (NRC, 2016). La variación de recomendación de Cu puede ser de 4 hasta 15 mg/kg de MS según Spears, (2003). Sin embargo, se ha llegado a establecer los requisitos de cobre para ganado vacuno en 10 mg/kg de MS. Esta cantidad deberá ser ofrecida cuando la cantidad de S sea menor que 0.25% y 2 mg de Mo en la dieta. (Kessler et al., 2012).

En dietas para ganado de engorda la cantidad de Cu puede llegar a ser menor de 10 mg/kg de MS, ya que podemos encontrar el mineral en los granos que se encuentran en grandes cantidades en dietas para ganado en corral. (NRC, 2016).

En el estudio de Engle et al. (2000) se trabajó con diferentes fuentes inorgánicas de Cu en animales de la raza Angus y Herford-Angus, en el cual sus resultados de productividad no se vieron relacionados con la fuente del mineral utilizado en la dieta (CuSO_4 , citrato de Cu).

En base a diferentes estudios se indica que la adición de 10 a 20 mg/kg de Cu en la dieta con alto contenido de concentrados, puede alterar el metabolismo de los lípidos y colesterol en novillos (Engle & Spears 2000a, 2000b).

La deficiencia de este mineral se le conoce como hipocuprosis, esta enfermedad se llega a presentar con síntomas como: anemia, disminución del crecimiento, despigmentación y cambios en el crecimiento y la apariencia del pelo, además de insuficiencia cardiaca, fragilidad en los huesos, diarrea, y baja reproducción (Underwood et al., 1999). La principal deficiencia de Cu se acredita a las bajas concentraciones que se encuentran en los pastos que habitan, cereales en heno, y granos de cereal consumidos (Suleiman et al., 1997).

La acromaticia o la falta de pigmentación en el pelo, es considerado como el primer signo en una deficiencia de cobre (Boyne y Arthur, 1981). En presencia de una hipocuprosis, los animales pueden presentar deficiencias en el desarrollo reproductivo, que incluyen baja porcentaje de fertilidad, largos periodos de posparto-perioso de celo, y un aumento en el numero de servicios de inseminación (Howell y Hall, 1970).

El zinc (Zn) es absorbido principalmente en el abomaso y en el intestino delgado (Miller, 1975). Su absorción es controlado homeostaticamente, y su consumo depende de la necesidad del animal según su etapa fisiologica (Miller, 1975).

El zinc juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de los animales (NRC, 2016). Mayland et al. (1980) informaron un aumento en la ganancia de peso en terneros prerumiantes, los cuales consumían forrajes maduros con concentraciones de 7 a 17 mg/kg de Zn. De la misma manera Perry et al. (1968), presentaron un aumento significativo de crecimiento en el ganado, bajo una suplementación de 18-29 mg/kg de Zn en la dieta.

En base a esto se ha estado buscando establecer el requerimiento de Zn para el ganado, Beeson et al. (1977) evaluarón diferentes concentraciones de Zn en la dieta de ganado bovino, los cuales obtuvieron mejor ganancia de peso con concentraciones de 17-21 mg/kg en MS. Sin embargo, existen otras investigaciones las cuales, no han reportado algún aumento en el desarrollo del ganado suplementado con zinc en la dieta (22-32 mg/kg de MS) (Pringle et al., 1977; Spears et al., 1984).

Debido a lo anterior la NRC, (2016) a base de investigaciones recomienda una concentración de 30 mg/kg de Zn en la dieta, la cual deberá cumplir los requisitos nutricionales del ganado de carne, bajo condiciones normales.

Los animales que se encuentran bajo una deficiencia de Zn por no llegar a cumplir su requerimiento, pueden presentar disminución en consumo de alimento, eficiencia alimenticia y crecimiento, además de un menor desarrollo testicular, y lesiones paraqueratóticas, entre otras (Miller y Miller, 1962; Miller et al., 1975).

Existe un trastorno genético que causa atrofia de timo y deterioradas en la respuesta inmune debido a la absorción alterada de Zn, lo cual es considerado como una deficiencia del mineral (Perryman et al., 1989). Debido a la presencia de una deficiencia por Zn, los animales pudieran presentar un menor aumento de peso, y problemas reproductivos (Mayland et al., 1980).

Existen algunos estudios que difieren en las recomendaciones de manganeso para el ganado de carne, debido a que sus requerimientos varían según su estado fisiológico (NRC, 2016). En el estudio de Rojas et al. (1965) evaluaron diferentes concentraciones de Mn, en la dieta de vacas preñadas, en lo cual notificaron anomalías en terneros de vacas con concentraciones de 15.8 mg/kg de Mn en MS, sin embargo, esto no se observó en concentraciones de 25 mg/kg de Mn en MS.

Hansen et al. (2006) en su estudio evaluaron el desarrollo fetal del ganado a partir de distintas concentraciones de Mn, en el cual concluyeron que una dieta con 16.6 mg/kg de Mn no era suficiente para un desarrollo óptimo, por otro lado con una suplementación de 50 mg/kg de Mn en la dieta se obtenían mayor productividad del ganado.

Actualmente la NRC (2016) nos brinda su recomendación de 20 mg/kg de Mn. Existen diferentes investigaciones en la última década, que confirman la recomendación de 20 mg/kg de Mn para el ganado de carne (NRC, 1996, 2000; Hansen et al., 2006; Legleiter et al., 2005).

Cuando no se ha cumplido los requerimientos de este mineral, la deficiencia de manganeso puede llegar a presentar anomalías en el esqueleto, lo cual conlleva a deficiencias en la rigidez, piernas torcidas, y menor resistencia ósea (Hurley y Keen, 1987).

En ganado adulto con deficiencia de Mn, se ve representada con un bajo rendimiento reproductivo, baja tasa de concepción, aborto entre otras (NRC, 2016).

Según la evaluación de diferentes estudios por la NRC (2000), la recomendación de cantidades de cobalto para un mínimo desarrollo para el ganado de carne, fueron de 0.10 mg/kg de MS en la dieta. Sin embargo, Smith, (1987) recomienda concentraciones mayores para el ganado en crecimiento, debido a una mayor sensibilidad del ganado a la deficiencia del cobalto.

Se cree que una dieta con alto porcentaje de concentrado puede llegar a disminuir la síntesis de la vitamina B₁₂, y aumentar los análogos de B₁₂ (Walker y Eliot, 1972). Sin embargo, en el estudio de (MacPherson & Chalmers, 1985), no se mostraron diferencias en el requisito de Co en animales que fueron sometidos a una dieta con mayores concentraciones de concentrados. Por otro lado, según en un estudio más actual Schwarz et al. (2000), recomienda una concentración de 0.20 mg/kg de MS, en dietas de finalización.

Por lo tanto, la recomendación de requisito de Co para ganado de carne es de 0.15 mg/kg de MS. (NRC, 2016)

Cuando no se cumplen el total de los requerimientos de cobalto, el ganado se encuentra en deficiencia, la cual estará representada por signos tempranos: falta de apetito, un crecimiento deficiente, o bajas ganancias de peso (Smith, 1987).

Sin embargo, una vez que la deficiencia sea severa, los animales presentan pérdida excesiva de peso, degeneración de la grasa del hígado, y anemia, además de una deficiencia en la capacidad de los neutrófilos para neutralizar levaduras, disminuyendo la resistencia a enfermedades. (Hurley et al., 1987).

2.6. Toxicidad por microminerales en bovinos.

La NRC (1980), nos brinda la concentración que se encuentra a límite de tolerancia de Se para el ganado el cual es de 2 mg/kg de MS, esto fue establecido a base de diferentes investigaciones previamente realizadas. Sin embargo, existen diferentes teorías por parte de Underwood y Suttle (1999) y MacDowell (2003), de un mayor límite de tolerancia del ganado para el Se, por lo cual la NRC (2000) estableció una recomendación mayor (5 mg/kg MS), de concentración en la dieta para ganado de carne.

En base a lo anterior, distintos estudios afirmaron la dosis de 5 mg/kg de MS, como recomendación máxima en la dieta para ganado bovino (Davis et al., 2006; Neville et al., 2008; Taylor J. B. et al., 2009).

Los casos de toxicidad por selenio, generalmente son debido a un consumo alto del mineral por suplementación, o forrajes con alto contenido de Se (NRC, 2016). El forraje con concentraciones de 5-40 mg/kg de Se, tienden a producir una enfermedad alcalina (toxicidad crónica) (NRC, 2016). En presencia de una enfermedad alcalina, los signos comunes observados son los siguientes: cojera, anorexia, pezuñas con anomalías, cirrosis hepática, y pérdida de vitalidad (Rosenfeld y Beath, 1964). En el estudio de McDowell et al. (2003) recomiendan utilizar 4-5 g de naftaleno en un periodo de 5 días en el ganado que presenta toxicidad crónica por selenio, esto con el propósito de aumentar la excreción del mineral.

Existen alternativas recomendadas, para la prevención de una intoxicación por Se, las cuales incluyen: menos absorción en las plantas por medio de tratamientos, aumentar la

excreción del mineral en el ganado, mezcla de ingredientes y menos concentración de Se en la dieta (Underwood E. & Suttle, 1999; McDowell, 2003).

Los escenarios para una toxicidad por cobre pueden ser al incrementar significativamente la dosis del mineral en la dieta o bien, que los insumos estén contaminados con Cu de fuentes agrícolas o industriales (NRC, 2016). En rumiantes, el hígado es capaz de almacenar grandes cantidades de Cu sin presentar alguna toxicidad, sin embargo, cuando esté libera altas concentraciones, ocurre una crisis hemolítica que provoca una hemólisis, hemoglobinuria, necrosis generalizada, y muerte (NRC 1984, 2005). Se ha presentado una mayor sensibilidad a una toxicidad por Cu en terneros prurumiantes, que en bovinos de mayor edad (NRC, 2016).

Shand y Lewis, (1957) evaluaron concentraciones de Cu en la dieta, con terneros jóvenes prurumiantes, los cuales presentaron una toxicidad por Cu, en el día 91 del estudio con una dieta de 115 mg/kg de MS. Bradley, (1993) reportó toxicidad de Cu en su estudio con vacas lecheras en periodo de lactancia, al ofrecer una dieta de 43% de concentrado y 37 mg/kg MS de Cu, y 22.6 mg de Cu/kg de MS en etapa de mantenimiento.

El ganado que comúnmente se encuentra en una dieta de forraje y suplementado con gran porcentaje de S, puede llegar a tener una mayor tolerancia y aumentar su requerimiento de Cu, de la cantidad que se encuentra recomendada (Arthington 2002, 2005).

La concentración máxima de zinc fue establecida por NRC (1980, 2005) con una dosis de 500 mg/kg. Sin embargo, Ott et al. (1966) informaron una disminución en el aumento de peso en terneros jóvenes bajo una alimentación con concentración de 900 mg/kg de Zn en un periodo de 12 semanas. Al igual que en el estudio de Jenkis y Hidroglou, (1991) existió una menor ganancia de peso y eficiencia alimenticia en terneros jóvenes alimentados con sustituto de leche con concentración de 700 mg/kg de Zn.

Se cree que la inhalación de Mn en la atmosfera, es considerado la principal causa a una toxicidad, por lo cual se han reportado efectos del manganismo en humanos y aves silvestres (Liu et al., 2013). A nivel celular, el Mn es acumulado en las mitocondrias, donde interrumpe la fosforilación oxidativa, y aumenta las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Gunter et al., 2006). Sin embargo, el Mn es un cofactor de la enzima superóxido dismutasa (SOD), por lo cual se considera un antioxidante de las células seminales ayudando a combatir a las ROS (Liu et al., 2013).

Para animales domésticos la NRC (1980, 2005), estableció los niveles críticos de tolerancia de manganeso en 1000 mg/kg a corto plazo, lo cual fue corroborado por Cunningham et al. (1966) al reportar ninguna consecuencia y/o efecto en terners suplementados en 1000 mg/kg de Mn.

Existen consecuencias de toxicidad publicadas en el estudio de Cunningham et al., (1966), en terneros bajo una suplementación mayor de 2000 mg/kg de Mn, en donde mostraron un menor crecimiento significativo, y menor consumo de alimento.

Se han informado efectos neuroconductuales y problemas reproductivos en ganado vacuno, debido a una alta exposición crónica por el mineral manganeso (Park, 2013). Además de una disminución en el libido, concentración, y motilidad espermática, en humanos que estuvieron expuestos a polvo de manganeso en su lugar de trabajo (Wu et al., 1996; Wirth et al., 2007).

El ganado tiene una alta toleración al cobalto, de hasta 100 veces su requerimiento dietético de Co (NRC, 2000), por lo cual es poco probable llegar a una intoxicación, la cual pudiera ser en un error en la formulación de la dieta. (NRC, 2016).

2.7 Importancia de los microminerales en la reproducción

Dentro de las producciones ganaderas se ha resaltado la importancia de la selección de sementales a temprana edad, lo cual se puede lograr semanas después de su nacimiento, por lo que su demanda comenzará tan pronto como sea posible producirlo, obteniendo así una cantidad de semen de toros jóvenes en su primer año de producción de hasta el 50% en proporción de la cantidad de toros adultos (Amann et al., 2012).

La selección de los sementales para la reproducción tiene como beneficio mejorar la genética para maximizar la fertilidad y producciones futuras (Rahman et al., 2017). Se cree que el toro inicia su pubertad cuando es capaz de producir una eyaculación con una evaluación mayor de 50×10^6 de concentración espermática, y $>10\%$ en su motilidad progresiva (Wolf et al., 1995). Rawling et al (2008) menciona que el rango de edad para entrar a la pubertad en toros europeos es de 37 a 50 semanas. Mientras que para la madures sexual Brito, et al. (2004), está puede ser caracterizada por un eyaculado que obtenga el $>70\%$ de los espermatozoides sin anomalías. Existen algunos parámetros, que nos pueden brindar información sobre el estado fisiológico y metabolismo del animal por ejemplo:

calidad de semen, variables sanguíneas, circunferencia escrotal, ecogenicidad, análisis computarizado de imágenes ultrasonográficas entre otras (Pierson et al., 1995; Barth, 2000). Por otro lado, la medida de la circunferencia escrotal con la pubertad no es de mayor precisión, ya puede ser influenciada con la nutrición y la raza (Kenny et al., 2018). Otra manera de estimar el estado fisiológico del animal es una mayor liberación de la hormona luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH), el cual es realizado entre las semanas 8 a 20 de edad, debido a la secreción de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) por quien estarán regularizados (Rawlings et al., 2008).

Debido a la gran demanda mundial se ha ido en incremento el interés de estrategias que mejoren y avancen la madurez sexual de los toros (Kenny y Byrne, 2018). La nutrición animal ha tenido gran influencia sobre el mejoramiento de la reproducción de los machos, por lo que ha dado inicio a investigaciones que buscan mejorar el rendimiento reproductivo del ganado a base de una buena nutrición (NRC, 2016). Byrne et al. (2018) reportó un aumento en la producción diaria de espermatozoides en toros prepuberes, al aumentar su nivel de nutrición. Por otro lado, los animales con una deficiencia nutricional pueden presentar reducción testicular, baja motilidad y concentración de espermatozoides. (Barth et al., 2008). Existen diferentes autores que mencionan una influencia por parte de los microminerales cobre y zinc en parámetros reproductivos en bovinos (Tsunoda et al., 2012; Shalini y Bansal, 2007). Es por ello por lo que en este estudio se busca brindar la suplementación micromineral como una posible estrategia de mejoramiento en la reproducción de bovinos de carne.

2.7.1 Selenio

Los órganos reproductivos en los machos como los testículos y el epidídimo requieren Se ya que este regula la síntesis de selenoproteínas, manteniendo el proceso de la espermatogénesis de manera normal (Shalini y Bansal, 2007). Una de las principales selenoproteínas que influye en el mejoramiento de la reproducción masculina es la enzima glutatión peroxidasa (GSH-PX) (Mehdi y Dufrasne, 2016). La GSH-PX es considerada un antioxidante primario, ya que actúa de manera preventiva en la formación de nuevos radicales libres (ROS), transformando estos radicales a otras moléculas menos dañinas (Ingrid Tortoledo et al., 2005). Los ROS son factores oxidantes altamente activos formados

por uno o varios electrones no unidos a su estructura, que pertenecen al grupo de radicales libres (Iqra Bano et al., 2019). Las ROS son requeridas en bajas concentraciones para una función normal de los espermatozoides, sin embargo, cuando esta concentración aumenta conduce a daños en el ADN, disminuye la motilidad de los espermatozoides, permeabilidad de las membranas, además provoca un desequilibrio en la homeostasis de las mitocondrias, lo cual limita la fertilización de las células de los espermatozoides (Barroso et al., 2000; Gil-Guzman et al., 2001; Aitken et al., 2004).

LA GSH-PX neutraliza el peroxido de hidrogeno (H_2O_2) que forma parte de los ROS, segun Iqra Bano et al. (2019) esta función se realiza principalmente en el epididimo y testiculos. Dentro de la familia de la GSH-PX, se encuentra la enzima glutatión peroxidasa 4 (GPx4) la cual forma parte de la estructura de la mitocondria en la vaina que cubre el flagelo del espermatozoide, el cual está encargada de su motilidad (Mehdi y Dufrasne, 2016). Debido a esto la deficiencia del Se eventualente es caracterizado por una menor motilidad de los espermatozoides (Mehdi y Dufrasne, 2016).

2.7.2 Cobre

El Cobre (Cu) es definido como un factor metálico que cumple con múltiples funciones con diferentes enzimas que incluyen diamina oxidasa, tirosina, citocromo coxida, y principalmente SOD-Cu/Zn (super oxido dismutasa) (Alvarez et al., 1987; A. Zini et al., 2002). Se ha comprobado la relación del Cu en la reproducción masculina, siendo reflejado en la calidad de los espermatozoides e histopatología testicular (Roychoudhury et al., 2016). Se encontró el Cu juega un papel importante en la espermatogénesis y la fertilidad, sin embargo, la influencia del Cu aun no se encuentra tan claro (Sakhaee et al., 2012). El Cu participa en la motilidad de los espermatozoides, ademas de formar parte de los receptores hipofisarios que regulan la liberación de la hormona LH (Slivkova et al., 2009).

Distintos autores han mencionado que el Cu mejora los parámetros de calidad del semen (Roychoudhury et al., 2016). Singh et al. (2003), menciona que el Cu se encuentra altamente relacionado con el volumen de semen eyaculado. Similar a esto en el estudio de Anchordoquy et al. (2017), al añadir concentraciones de 0.4 en Cu al medio, obtuvieron una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$), en la union del espermatozoide y la zona pelucida, y un aumento en el tiempo de vida de los espermatozoides. De la misma manera en el estudio de

Anchordoquy et al. (2017) evaluaron la motilidad progresiva de espermatozoides de ganado bovino, que fueron designados para la adición de diferentes concentraciones de Cu, en el cual se obtuvo una diferencia significativa ($p > 0.05$) en la adición de 0.4 mg/dl de Cu, en las 0 horas y 3 hora de la toma, sin embargo, su eficiencia disminuyó a las 6 horas.

Como anteriormente se ha mencionado la importancia de los antioxidantes primarios, el Cu forma parte de uno de los principales antioxidantes de las células germinales, la enzima Super Oxido Dismutasa (SOD), la SOD se encuentra presente de manera extracelular e intracelular, y su función como antioxidante consiste en la captura del radical anión superóxido (O_2^-) para la conversión en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (Ingrid Tortolero, 2005; Ahola et al., 2005).

Ahola et al. (2005) confirmaron un incremento de la enzima Super oxido dismutasa (SOD) en el ganado, con un suplemento de Cu en la dieta. Del mismo modo, Ward & Spears, (1997) reportaron una mayor actividad de la enzima SOD, con un suplemento de Cu en la dieta en los días 0, 28 y 56 del experimento en el ganado bovino.

2.7.3. Zinc

El Zinc (Zn) juega un papel importante en la reproducción debido a sus funciones biológicas, en la regulación del crecimiento normal y maduración sexual de los machos (Kerns et al., 2018). El Zn es unido a los espermatozoides en las últimas fases del espermato; diferenciación y eyaculación (Roy et al., 2013). Esto debido a que los iones de Zn (Zn^{2+}) colonizan células espermatogénicas en etapas finales de la diferenciación de células espermatidas al momento de incorporarse al núcleo (Barney et al., 1968) y a las fibras densas externas nacientes (ODF) (Baccetti et al., 1976).

Las ODF son estructuras en el flagelo del espermato y son formadas en la espermatogénesis, tiene como funciones principales protección del flagelo durante la eyaculación y formación de estructura que permita a los espermatozoides utilizar como recurso energético (Roy et al., 2013). Se ha demostrado que el 75% del Zn se encuentra en la ODF para los bovinos (Henkel et al., 2001).

En los espermatozoides, el Zn es unido a las fibras densas externas (ODF), en la cola del espermato, uniéndose a los grupos a los grupos sulfhidrilo de los grupos cisteína en el flagelo, formando Zn-mercapto, evitando la oxidación prematura (Henkel et al., 2001).

Durante el recorrido del flagelo por el epidídimo el Zn es eliminado por la proteína de 160 kDa, permitiendo la oxidación de los grupos sulfhidrilo y endurece las ODF ayudando a la motilidad progresiva (Henkel et al., 2001). La eliminación de Zn es considerado como requisito para la maduración espermática (Andrews et al., 1994). Altas concentraciones de Zn (100 μ M) disminuye la motilidad de los espermatozoides (Riffo et al., 1992).

En la eyaculación los iones de Zn son incorporados en el núcleo, el cual se asocia con protaminas formando puentes de zinc que ayudan a estabilizar la estructura de la cromatina del espermatozoide (Bjorndahl et al., 1986; Bjorndahl y Kvist, 2010, 2011).

Otra función importante del Zn en la reproducción masculina, es su papel en el eje hipotálamo-pituitario-gonadal (Fallah et al., 2018). El Zn se localiza en el complejo de Golgi de la glándula pituitaria, estimulando a las células de Leydig para la producción de testosterona, por medio de la secreción de las hormonas LH y FSH (Singh et al., 2018).

Otro papel importante del Zn, es función como antioxidante, al ser cofactor de la enzima SOD, como anteriormente se ha mencionado, la enzima SOD tiene un gran impacto en la reproducción masculina al ser una de las principales defensas contra las especies reactivas de oxígeno (Ahola et al., 2005).

2.7.4. *Manganeso*

El manganeso a pesar de ser requerido en pequeñas concentraciones, se han reportado efectos en la reproducción al aumentar las dosis del mineral en el consumo (Wirth et al., 2007). Se ha demostrado que el Mn puede llegar a alterar las funciones reproductivas en muchos, teniendo efecto en la calidad de semen y su fertilidad (Yuyan et al., 2012). En situaciones de una deficiencia de Zn y Mn puede llegar a existir una inhibición de los sistemas enzimáticos encargados con la motilidad de los espermatozoides (Yuyan et al., 2012). En el estudio de Lapointe et al. (1996) mencionan un mayor porcentaje de motilidad progresiva en espermatozoides suplementados con 0.1 mMn, en comparación a espermatozoides sin suplementar. Mismos autores (Lapointe et al., 1996) obtuvieron un mejor mantenimiento de los espermatozoides, con mayor capacidad en la fertilización al añadir Mn^{2+} .

Otra función del Mn es en la síntesis de colesterol (Singh et al., 2018). El cual influye en la síntesis de esteroides, estrógeno, progesterona y testosterona (Singh et al., 2018). Dees et al. (2017) mencionan que existe un aumento en la espermatogénesis influenciada a la

suplementación del Mn, debido al aumento de las hormonas LH y FSH. Según Simoni et al. (1999) la suplementación del Mn aumenta las secreciones de LH, la cual actúa en la espermatogénesis estimulando la producción de testosterona desde las células de Leydig. En el estudio de Dees et al. (2017) reportaron aumentos de las hormonas LH, FSH y testosterona en caninos jóvenes que fueron suplementados en concentraciones de 25 mg/kg de MnCl_2 . Por otro lado, en el estudio de Feng & Feng, (1998) evaluaron gallinas ponedoras que se encontraban bajo una deficiencia de Mn, mostrando menor producción de huevo, y disminución en niveles de progesterona, estradiol, hormona luteinizante, y hormona foliculoestimulante. Debido a esto se cree que la deficiencia del manganeso puede llegar a afectar la función del eje hipotálamo-pituitario-gonadal (Xie et al., 2014).

Se ha informado que el Manganeso forma parte de los cofactores en la enzima SOD, anteriormente se ha mencionado la importancia y función de antioxidante de esta enzima. En el estudio de Liu et al. (2013) evaluaron diferentes concentraciones de Mn en la dieta destinada para gallos, en lo cual informaron un aumento de las actividades de las enzimas SOD y al aumentar los días y dosis del mineral. Sin embargo, después de los 90 días, el tratamiento de dosis altas (1800 mg/kg de Mn), tuvo menor actividad de SOD.

En la regulación de apoptosis celular, juegan un papel importante los minerales pesados, debido a que estos tienen la afinidad por enzimas con contenido de grupos tiol y proteínas, las cuales tienen como función ser una defensa celular (Gong et al., 2008). En el estudio de Liu et al. (2013) evaluaron la concentración de Mn en la dieta para gallos, en el cual mencionan un número de células apoptóticas menor significativamente, en los tratamientos con concentraciones bajas (dieta basal más 900 mg/kg de Mn) y altas (dieta basal más 1800 mg/kg de Mn), en comparación al tratamiento control (dieta basal más 600 mg/kg de Mn).

Existen distintos autores que mencionan resultados negativos en la suplementación de Mn. Elbetieha et al. (2001) mencionan baja fertilidad en ratones bajo un suplemento de MnCl_2 . Similar a esto Barber et al. (2005) obtuvieron menor calidad de semen y viabilidad de espermatozoides de pollos de engorde bajo un régimen de suplementación de MnSO_4 . Según el Mn por ser un metal, cuando se encuentra en cantidades elevadas que pueden ser tóxicas, se dirige hacia el epidídimo afectando a los espermatozoides. Es por ello que se recomienda

estudiar los efectos de la suplementación del Mn, para definir su función y los niveles recomendados para una buena producción y bienestar del animal.

2.8. Importancia de los microminerales en el desempeño productivo

A lo largo de las investigaciones sobre el conjunto de minerales en una suplementación para el ganado de carne, se ha revelado resultados controversiales en sus rendimientos y algunos parámetros de la canal, sin embargo, existe poca divulgación sobre los efectos de una suplementación mineral sobre indicadores de la calidad de la carne, por lo cual se recomienda seguir en la investigación de los efectos de la suplementación de los microminerales en el desempeño de los bovinos (Vellini et al., 2020).

2.8.1. Selenio

Distintos estudios se han dedicado al metabolismo del Se en rumiantes (K. Mihalikova et al., 2005). El Se en el organismo, tiene un papel importante en el metabolismo de las hormonas tiroideas (Mehdi y Dufrasne, 2016). El Se forma parte de la enzima 5-yodotironina desyodasa que forma parte del grupo de las selenoproteínas, su función principal es activar la hormona tetrayodotironina (T4) a triyodotironina (T3), la hormona T3 es la forma activa de las hormonas tiroideas, encargadas del mecanismo del crecimiento (Mehdi y Dugrasne, 2016; Thompson et al., 1995). Debido a su participación con las hormonas tiroideas, el Se se considera un mineral esencial para la salud y productividad del ganado (Xun et al., 2012).

La oxidación lipídica es considerada una de las principales causas que afectan la calidad de la carne, ya que este factor influye en el color, sabor, textura y valor nutricional de la carne (Mehdi y Dugrasne, 2016). Joksimovic-Todorovic et al. (2012) mencionan que el Se tiene influencia en conservar la calidad de la carne. Se cree que su función es ser cofactor de la enzima glutatión peroxidasa 4 (GPx4) principal selenoproteína en protección contra la peroxidación lipídica (Mehdi y Dugrasne, 2016). Otra función del Se en la calidad de la carne, es la disminución del colesterol al aumentar la concentración de Se en la dieta, por lo que se tiene carne más saludable, sin embargo, existe poca información que corrobore con esta teoría (Mehdi et al., 2015).

En los rumiantes, la dieta de consumo normalmente varían las concentraciones de Se debido a los ingredientes de origen vegetal, lo cual puede causar una deficiencia provocando menor productividad en el ganado (Juniper et al., 2008). Por lo cual, se requiere la adición de Se en la dieta animal (Xun et al., 2012).

2.8.2. *Cobre*

Como se ha mencionado el Cobre es considerado un mineral esencial para el ganado, debido a su participación en diversas funciones biológicas (Engle, 2011). Distintos autores han mencionado la influencia del Cu sobre el metabolismo de los lípidos (Liepa et al., 1978; Engle et al., 2000). Mencionan que la adición dietética de altas concentraciones de Cu, alteran el metabolismo de los lípidos en ratas, además de aumentar los ácidos grasos insaturados (Engle, 2011). Similar a esto existen más autores que corroboran con el estudio de Engle (2011) mencionando que el Cu dietético, tiene influencia en la profundidad del tejido adiposo subcutáneo de la 12ª costilla en animales de ganado de engorda (Engle y Spears 2000a, 2000b). Engle y Spears, (2000a) en su estudio evaluaron los animales de la raza Angus y Herford-Angus al ser suplementados con mayor concentración de Cu en la dieta, notificaron que el área de la grasa dorsal disminuía significativamente al aumentar las concentraciones del mineral. Engle y Spears (2000b) obtuvieron resultados mayores de ácidos grasos insaturados del músculo Longissimus y una disminución de ácidos grasos polinsaturados en animales de la raza Angus bajo una suplementación de 10 a 20 mg de Cu/kg de MS, sin embargo, al aumentar las concentraciones de 20 a 40 mg de Cu/kg de MS, no se mostró una diferencia entre las variables.

La cantidad de colesterol disminuye en novillos que fueron suplementados con Cu durante su etapa de finalización (Engle, 2011). Liepa et al. (1978) mencionan que el órgano principal en la síntesis del colesterol en rumiantes se encuentra el intestino delgado, seguido del tejido adiposo, y por último una pequeña parte que proviene del hígado. En base a esto Engle et al. (2000) proporcionaron una teoría, debido a que la absorción del Cu desde la luz intestinal que se dirige al enterocito requiere mismos mecanismos que los del hígado, por lo cual el Cu disminuye la síntesis del colesterol en el hígado y en el intestino en los rumiantes.

Ward y Spears (1997) informaron un aumento del área muscular en novillos suplementados con concentraciones mínimas de Cu en la dieta. Engle et al. (2000), mostraron

un aumento en la grasa de la espalda, y un mayor número de ácidos grasos insaturados en el músculo longissimus, con una dieta con concentraciones mayores de Cu en la dieta (10 a 40 mg/kg de MS).

Lee et al. (2002) en su estudio realizaron mediciones con ultrasonido, en el músculo Longissimus de bovinos suplementados con Cu en diferentes concentraciones en la dieta, en los cuales obtuvieron resultados de menor grosor (1.33 cm), en animales suplementados con Cu vs animales sin suplementar (1.43 cm), con una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$).

Ahola et al. (2005), en su estudio obtuvieron una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) en el consumo de materia seca (CMS), en el ganado suplementado con minerales orgánicos e inorgánicos (Cu, Zn, Mg), vs animales sin suplementar.

Rhoads et al. (2003) corroboraron la importancia del uso de una suplementación mineral en etapa de finalización para el ganado, recomendando minerales de fuente inorgánica (1.5 o 3.0 mayor que la NRC, 1996), debido a su evaluación de productividad y desempeño en novillos con tratamientos de minerales orgánicos e inorgánicos de Zn, Cu, Mg.

Ward & Spears, (1997) evaluaron la eficiencia de una suplementación de Cu en novillos, en la cual obtuvieron una mayor ganancia diaria de peso y conversión alimenticia con una concentración de 5 mg Cu/ kg de MS en una dieta.

2.8.3. Zinc

El zinc participa en la actividad de más de 300 enzimas con funciones metabólicas en el cuerpo (Sahin et al., 2009). Está involucrado en la síntesis de proteínas, metabolismo de carbohidratos y ácido nucleico, división celular, mantenimiento de la membrana y eliminación de radicales libres. (Hosnedlová et al., 2007).

Una de las funciones principales del Zn es como defensa antioxidante, según Oteiza et al. (1996) el mecanismo de acción como antioxidante del Zn es aumentar la síntesis de metalotioneína, proteína rica en cistina, la cual tiene como función eliminar radicales libres. La metalotioneína se sintetiza en respuesta del zinc dietético, y consta de 7 átomos de zinc por cada molécula de proteína (Shalini et al., 2007). Además de formar parte de la enzima superóxido dismutasa (SOD), enzima antioxidante que ayuda a la regulación térmica en

animales bajo condiciones de estrés, situación en el cual los animales sufren trastornos y menor rendimiento (Shalini et al., 2007).

Rust y Schlegel, (1993) en su estudio demostró que el uso de una suplementación de Zn, en etapa de finalización de ganado bovino, ha llevado al aumentar significativamente su ganancia diaria de peso ($p < 0.01$) vs animales sin suplementar. Similar a esto Mayland et al. (1980) mencionan un aumento en la ganancia de peso, en terneros que se encontraban bajo una suplementación de 7-17 mg/kg de Zn, en forrajes maduros.

En el estudio de Malcolm-Callis et al, (2000), se evaluaron tres concentraciones de zinc en la dieta como ZnSO_4 , (20, 100 y 200 mg/kg de MS), en donde se mencionan una disminución lineal altamente significativa ($p < 0.01$) de CMS, al aumentar las concentraciones de Zn en la dieta.

Spears y Kegley, (2002) compararon suplementos orgánicos vs inorgánicos del mineral Zn en la dieta en ganado bovino, en donde el mineral orgánico obtuvo un aumento significativo de ganancia diaria de peso. Por otro lado Nunnery et al. (1996), mostró resultados de GDP, mayores en el ganado suplementado con ZnSO_4 , que en animales con suplemento de Zn-metionina.

En el estudio de Spears y Kegley, (2002), evaluaron el comportamiento del ganado de carne, bajo una suplementación durante la fase de crecimiento del ganado (25 mg/kg de Zn), hasta finalización (dieta basal con 26 mg de Zn) sin embargo, concluyeron que no existía un aumento significativo en el desarrollo.

2.8.4. *Manganeso*

El manganeso es necesario para enzimas encargadas del crecimiento, metabolismo de carbohidratos, aminoácidos y colesterol (Xie et al., 2014). El Mn participa en enzimas como piruvato carboxilasa, y fosfoenolpiruvato carboxinasa, enzimas esenciales en el gluconeogénesis (NRC, 2001). Baly et al. (1990) reportaron una disminución de absorción de glucosa, receptores de insulina, y síntesis de triglicéridos en adipocitos aislados de ratones con deficiencia de Mn.

El mineral juega un papel importante en el desarrollo óseo ya que el principal cofactor de las enzimas galactotransferasa y glicosiltransferasa las cuales tienen como función la síntesis de proteoglicanos necesarios para la formación de hueso y cartilago (NRC, 2001).

En el estudio de Legleiter et al. (2005) evaluaron el crecimiento de terneros, bajo una dieta con sustituto de leche, en el cual, obtuvieron un menor crecimiento, peso corporal, y eficiencia alimenticia en animales en una dieta de 500 mg/kg de Mn.

Legleiter et al. (2005) evaluaron distintas concentraciones de Mn en la dieta de novillos (10, 20, 30, 120 y 240 mg/kg de Mn en MS), sin embargo esto no obtuvieron diferencias, en GDP, CMS, y conversión alimenticia. Similar a esto Cunningham et al. (1966) informaron que la adición de una dosis de 1000 mg/kg de Mn en MS, para terneros en crecimiento, no presento alguna diferencia, sin embargo, en concentraciones de 2460 mg/kg de Mn de MS, disminuyo la GDP, y CMS en terneros de crecimiento.

Legleiter et al. (2005) evaluarón el comportamineto de novillos Angus, sometidos a una suplementación de distintas concentraciones de Mn en la dieta (0, 10, 20, 30, 120 y 240 mg/kg de Mn en MS), sin embargo, no observaron diferencias entre los tratamientos para la grasa entre la 12° costilla, calidad de la canal, grados de calidad y marmoleo.

Caldera et al. (2017) compararon el estado de los minerales, bajo una suplementación de Mn, Zn, Cu para novillos, en el cual informaron una GDP similar (2.03 kg/d) entre el grupo de microminerales inorganicos en concentraciones de 90 mg de Zn/kg de MS de ZnSO₄, 17.5 mg de Cu/kg de MS de CuSO₄, 48 mg de Mn/kg de MS de MnSO₄, y distintas concentraciones de microminerales organicos. De la misma manera Berrett et al. (2015) informaron un rendimiento de 2.05 kg/d en novillos suplementados con Cu, Zn y Mn en concentraciones iguales y mayores a las sugeridas por la NRC (2000).

2.8.5. Cobalto

El cobalto es requerido en la dieta de los rumiantes, debido a que es necesario por los microorganismos ruminales para la produccion de la vitamina B₁₂ (Kincaid et al., 2003). La vitamina B₁₂ tiene un papel importante como cofactor de dos enzimas; (1) metilmalonil-CoA mutasa necesaria para su conversión a succinil-CoA en la glucongénesis y (2) metionina sintasa, necesaria en la remetilación de la homocisteína en la sistesis de metionina (Tiffany et al., 2002).

Kawashima et al., (1997) mencionan que las concentraciones Co en la dieta del ganado, tendio a aumentar las concentraciones de vitamina B₁₂ en suero e higado. Similar a esto Tiffany et al. (2002) obtuvieron un aumento de concentraciones liquidas de vitamina

B₁₂ en el rumen de novillos de engorda bajo una suplementación de Co en dietas altas de energía.

En diversos estudios han confirmado la influencia que tiene la vitamina B₁₂ con el crecimiento de algunos microorganismos ruminales (Tanner & Wolfe, 1988; Strobel, 1992). De esta manera se puede lograr cubrir los requerimientos de la vitamina B₁₂ por parte de los microorganismos y del animal.

En situaciones de una deficiencia de vitamina B₁₂, los rumiantes han presentado un menor consumo de alimento y GDP, reducción de la vitamina B₁₂ en plasma e hígado, disminución de homocisteína, metionan sintasa y metilmalonil-CoA mutasa (Tiffany et al., 2002). Corroborando lo anterior Tiffany y Spear (2005) mencionan que la suplementación en concentraciones de 0.05 y 0.15 mg / kg de MS de cobalto en la dieta, aumento significativamente el consumo de materia seca y ganancia diaria de peso en novillos. Por otro lado, mismos autores mencionan que las dietas a base de maíz y cebadas deficientes en Co, podría afectar el rendimiento y concentraciones de vitamina B₁₂ en el ganado.

Tiffany et al. (2003) evaluaron el rendimiento de novillos de la raza Angus, bajo suplementación de Co en concentraciones de 0, 0.04, 0.05, 0.10 y 1.0 mg/kg de MS, sin embargo, el rendimiento no se vio influenciado por la suplementación en etapa de crecimiento, sin embargo, durante la fase final los novillos suplementados con Co obtuvieron una mayor GDP ($p < 0.05$).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio

El estudio fue realizado en el Centro de Investigación en Producción Agropecuaria (CIPA), perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el municipio de Linares, Nuevo León, México. Durante el estudio se utilizaron dos corrales (17 x 33m), con una capacidad para 32 animales. Cada corral contaba con dos bebederos y comederos equipados con el sistema GrowSafe (Figura 1), con capacidad de abastecer el alimento de manera *ad libitum*.

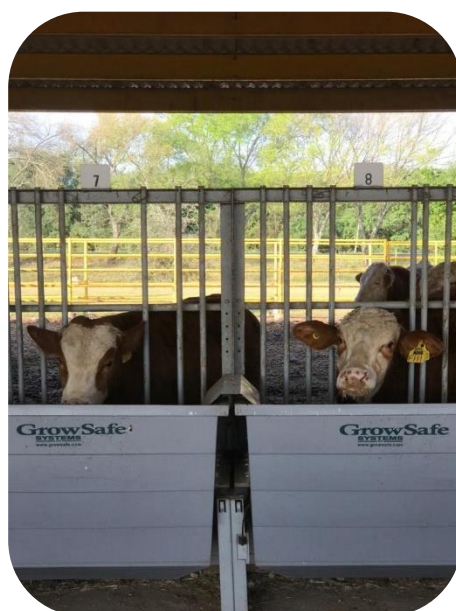


Figura 1. Comederos con sistema GrowSafe.

3.2. Características de los animales y diseño experimental

Se utilizaron 33 becerros de la raza Simmental (n=17) y Simbrah (n=16) con una edad promedio de 263 días (± 6.2) y un peso promedio de 270 kg (± 7.2). Los animales se encontraron en dos corrales sometidos a una misma dieta base de crecimiento, con un 13.8% de PC y 1.76 de ENm (Cuadro 1). Se formularon 2 mezclas base de minerales utilizadas en la dieta, las cuales fueron ofrecidas en diferente corral, bajas concentraciones de

microminerales (BM; corral 1) y altas concentraciones de microminerales (AM; corral 2) (Cuadro 2). Se implementó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo factorial 2x2 durante un periodo de experimentación de 86 días. Los 4 tratamientos fueron asignados de la siguiente manera: (1) becerros de la raza Simmental con bajas concentración de microminerales (n=10); (2) becerros de la raza Simmental con altas concentraciones de microminerales (n=7); (3) becerros de la raza Simbrah con bajas concentraciones de microminerales (n=10); y (4) becerros de la raza Simbrah con altas concentraciones de microminerales (n=6).

Previo al inicio del periodo de experimentación, se consideró un periodo de adaptación de 20 días, tiempo durante el cual los animales recibieron las respectivas dietas experimentales (BM y AM) y forraje de buena calidad que fue disminuyendo desde el inicio hasta finalizar su adaptación.

Cuadro 1. Ración base para becerros Simmental y Simbrah.

Análisis en base seca	Cantidades (kg)
Ingredientes	
Sorgo (grano molido)	529
Pasta de soya	40
Grano seco de destilería	106
Heno	240
Melaza	60
Mezcla base *(BM, AM)	25
ENm, Mcal/kg	1.76
ENg, Mcal/kg	1.15
PC, %	13.8
FDN, %	29

*BM: bajas concentraciones de microminerales; AM: altas concentraciones de microminerales.

Cuadro 2. Mezclas bases utilizadas en el estudio.

3.3. Obtención de datos de las variables a evaluar.

Los animales fueron estudiados en su desarrollo productivo y reproductivo durante 86 días. Los animales fueron sometidos a la prensa de manejo, para mayor seguridad del personal, de esta manera se recolectaron los datos de las variables productivas y reproductivas que fueron evaluadas.

3.3.1 Análisis físicoquímico y mineral de agua de bebida

Previo al inicio del estudio, se realizó un análisis físicoquímico y mineral del agua disponible para beber mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), para determinar la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) y las concentraciones de macro- y microminerales. El agua era proveniente de un pozo ubicado a 1 km de distancia de los corrales. El agua fue tomada directamente del bebedero y posteriormente transportada para su análisis hacia el laboratorio AQUA, ubicado en San Nicolas de los Garza, Nuevo León. En base a la cantidad de minerales disueltos en el agua, se realizó la formulación de las mezclas bases de minerales del estudio, para determinar para obtener concentraciones altas y bajas de microminerales deseadas.

3.3.2. Ganancia diaria de peso (GDP)

La ganancia diaria de peso (GDP) fue calculada mediante la diferencia del peso registrado al final (día 86) y el peso inicial (día 1), dividido entre los días del periodo experimental ($GDP; (P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}})/87 \text{ días}$). El peso de cada uno de los animales fue registrado utilizando una báscula ganadera (Gallegher) adaptada a las instalaciones del corral de manejo, como se muestra en la Figura 1. Para minimizar el grado de error, el peso de los animales se realizó considerando un promedio de dos mediciones realizadas durante el mismo día.



Figura 2. Registro de peso de los animales en corral de manejo, utilizando una báscula portátil Gallegher.

3.3.3 Conversión alimenticia. (CA)

El consumo de alimento, consumo de materia seca (CMS) y consumo residual de alimento (RFI) fueron obtenidos por medio del sistema GrowSafe (Figura 2), donde fue monitoreado diariamente el consumo individual de cada uno de los animales.

La conversión alimenticia de cada animal fue obtenida tomando en cuenta el consumo de alimento, entre la ganancia diaria de peso obtenida anteriormente.

$$\text{conversión alimenticia} = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Ganancia diaria de peso}}$$

3.3.4. Consumo residual de alimento (RFI)

Para obtener el RFI, es necesario calcular el consumo estimado, y tomar en cuenta consumo real de cada animal, para utilizarlo de la siguiente manera:

$$RFI = CMSr - CMSe$$

$$CMSe = \beta_0 + \beta_1 GD + \beta_2 PMM + RFI$$

- CMSr = consumo de materia seca real observado.
- CMSe = consumo de materia estimado a partir de una regresión que considera el peso metabólico a mitad de prueba (PMM) y su ganancia diaria (GD).
- Los coeficientes son β_0 , β_1 , β_2 .

3.3.5. Determinación del rendimiento de la canal mediante ultrasonografía

El área del ojo del lomo (in^2), el porcentaje de grasa intramuscular y el índice de grasa dorsal y grasa de la cadera, fue determinado por medio de ultrasonografía en tiempo real en el día 82 del estudio (Aloka SSD-500 V; transductor lineal, 17 cm de 7.5 MHz) por un técnico certificado. Las imágenes fueron tomadas del costado izquierdo del animal. Se realizó una limpieza en las zonas a evaluar para eliminar el exceso de suciedad, posteriormente fueron rasuradas y lubricadas para la colocación del transductor. De acuerdo con lo propuesto por Yokoo et al. (2010) el transductor fue colocado en la línea media de la 12^a y 13^a costilla del animal como se muestra en la Figura 3, en posición 2 como se muestra en la Figura 3 para la recolección de datos del área del ojo del lomo (AOL) y grasa dorsal (GD). Se realizaron 4 tomas por animal que fueron promediadas para la medida de la grasa intramuscular (GI), las tomas fueron realizadas colocando el transductor en posición lateral a la 12^a y 13^a costilla, en posición 1 que se muestra en la Figura 3. Por último, para la toma realizada para la evaluación de la grasa de la cadera (GC), el transductor fue alineado directamente sobre el área pélvica, de manera que se muestra en la Figura 3, en posición 3. Las capturas de imagen fueron guardadas para su posterior análisis e interpretación.

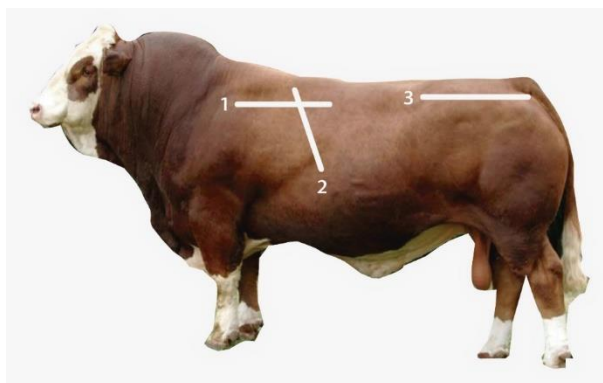


Figura 3: Posiciones de referencia para la toma de muestras. Posición 1: AOL y GD; Posición 2: GI; Posición 3: GC.

3.3.6. Determinación de concentraciones de minerales en suero

Durante el periodo del estudio se colectaron muestras de sangre de todos los animales a intervalos de 14 días iniciando a partir del día 10 del periodo de experimentación. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 g durante 15 minutos. Para la obtención de suero sanguíneo se utilizaron tubos colectores (6 ml) con activador de coagulación, y tubos adicionados con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) para la obtención de plasma sanguíneo (5 ml). Las muestras de suero y plasma obtenidas fueron almacenadas a una temperatura de -10°C hasta la fecha del análisis.

El suero obtenido se utilizó para determinación de las concentraciones de cobre (Cu), cobalto (Co), zinc (Zn), selenio (Se), y manganeso (Mn), por medio de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Las muestras de suero en tubos eppendorf fueron descongelados y analizados en el laboratorio de AQUA, ubicado en San Nicolas de Los Garza, Nuevo León. Se registraron de manera individual los mililitros tomados de la muestra por medio de una micropipeta y fueron colocadas en un matraz de 250 ml. (Figura 4).

Las muestras fueron colocadas dentro de la campana de extracción en donde se les añadió 25 ml de ácido nítrico (HNO_3) al 66%. Las soluciones se colocaron en una estufa a 105°C durante 1 hora aproximadamente, hasta obtener una solución de 1 ml de muestra. Posteriormente los matraces fueron retirados de la estufa y lavados con agua bidestilada. Se

añadió a la solución 10 ml de ácido clorhídrico (HCl). Posteriormente los matraces se colocaron en la estufa (1 hora aprox.) hasta quedar nuevamente con un 1 ml de muestra.



Figura 4. Muestra de suero tomada de tubo ependorff.

Después de la digestión las muestras fueron filtradas utilizando papel filtro y embudo, siendo recolectada en un matraz aforado de 10 ml posteriormente las muestras fueron vaciadas y etiquetadas en envases de plástico para su evaluación.

Las muestras fueron evaluadas por medio de espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (Figura 5), en el cual se realizó una curva de calibración con muestras blanco para realizar la identificación de concentraciones de microminerales (Cu, Co, Zn, Se y Mn), posteriormente en nuestras muestras.

La identificación de concentraciones se realizó utilizando el programa WinLab32 ICP Continuos, en el cual se almacenaron los datos obtenidos a lo que se agregó la siguiente formula.

$$\text{Concentración de micromineral} = \frac{\text{Cantidad obtenida por ICP-OES (.10)}}{\text{Cantidad de ml utilizados de suero}}$$

Una vez obtenido las concentraciones de microminerales en suero, se realizó la compilación de datos, de cada una de las muestras para posteriormente analizarlo estadísticamente.



Figura 5. Fotografía del ICP-OES Perkin Elmer Optima 2000 DV.

3.3.7. Concentraciones de testosterona en plasma bovino

Las concentraciones de testosterona en plasma sanguíneo fueron determinadas por medio de ELISA utilizando un kit comercial (Mexlab; 6001012; México), apegándose a las especificaciones e indicaciones del fabricante, utilizando un espectrofotómetro de la marca Epoch, con el Software Gen 5 (Figura 7).



Figura 6. Kit Testosterona ELISA 6001012, MexLab México.



Figura 7. Espectrofotómetro de microplacas Epoch.

3.3.8. Circunferencia escrotal

Iniciando el día 17 del periodo de experimentación, se registró la circunferencia escrotal de los animales. Brevemente, de una manera firme y sin aplicar presión, ambos testículos fueron desplazados desde el cuello hasta la parte inferior del escroto. La toma registrada fue por medio de una cinta métrica, la cual fue colocada en el diámetro más ancho del escroto. (Figura 8). Posteriormente el registro de la circunferencia se realizó en intervalos de 14 días hasta finalizar el periodo de experimentación.



Figura 8. Uso de la cinta métrica para el registro de la circunferencia escrotal

3.3.9. Evaluación del parénquima testicular por medio de ultrasonografía

El parénquima testicular fue evaluado por medio de ultrasonografía utilizando un equipo SonoScape S2 equipado con un transductor lineal con una frecuencia de 7.5 MHz. Las evaluaciones fueron realizadas iniciando el día 31 del periodo experimental. Posteriormente las evaluaciones se realizaron en intervalos de 14 días hasta finalizar el periodo de experimentación. Todas las evaluaciones fueron realizadas por una sola persona durante todo el periodo de experimentación. Para minimizar variaciones entre evaluaciones, los ajustes del equipo de ultrasonido tales como, la ganancia proximal, distal y general, brillo, contraste y enfoque permanecieron como predeterminados durante el periodo de experimentación.

Los animales fueron inmovilizados en la prensa de manejo y previo a las evaluaciones, se removió el exceso de polvo y suciedad del escroto con paños húmedos. Utilizando gel conductor, cada testículo fue escaneado en los ejes vertical (plano sagital) y horizontal (plano transversal). La imagen fue alineada hasta que se pudiese observar claramente el mediastino testicular. Posteriormente la imagen fue congelada y almacenada en el equipo. Dicho proceso fue realizado para cada testículo, por lo que cada evaluación se compuso de cuatro imágenes por animal.

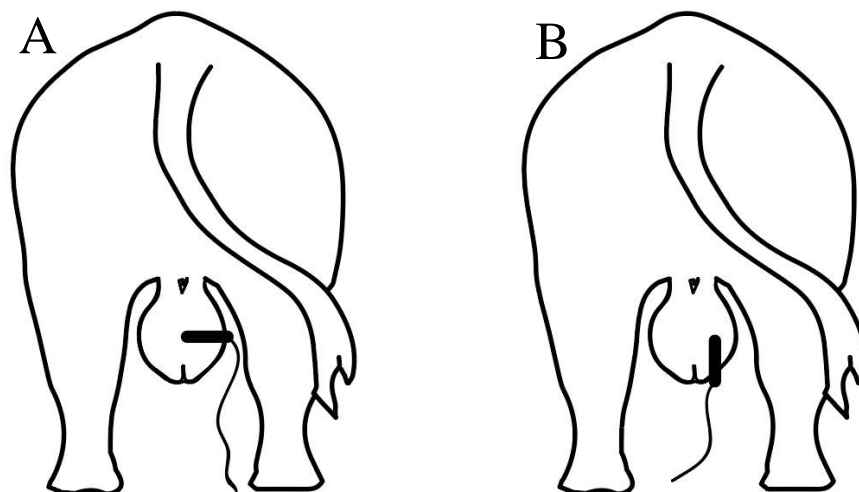


Figura 9. Evaluación del parénquima testicular en el eje horizontal (A) y vertical (B).

Mediante el software computacional Image J (US National Institutes of Health, Md, EE.UU), se analizó la intensidad de los píxeles (PI) del parénquima testicular, como lo descrito por Tomlinson et al. (2017). El PI de las imágenes correspondientes al eje vertical fue determinado trazando seis círculos de un diámetro de 10 mm (tres medial y tres lateral al mediastino testicular) sobre el parénquima testicular, a una distancia aproximada de 10 mm del mediastino testicular (figura 11). De la misma manera, en las imágenes correspondientes al eje horizontal se trazaron cuatro círculos del mismo diámetro (dos cranial y dos caudal al mediastino testicular). El PI dentro de cada círculo trazado se calculó de acuerdo a una escala de grises de 0 a 256 (0 correspondiendo a negro; 256 correspondiendo a blanco). Dicho proceso fue repetido tres veces para cada imagen, de manera que se obtuvieron 30 imágenes por testículo por animal. Una vez que se analizaron todas las imágenes, los datos de ambos testículos se combinaron para obtener una media y desviación estándar.

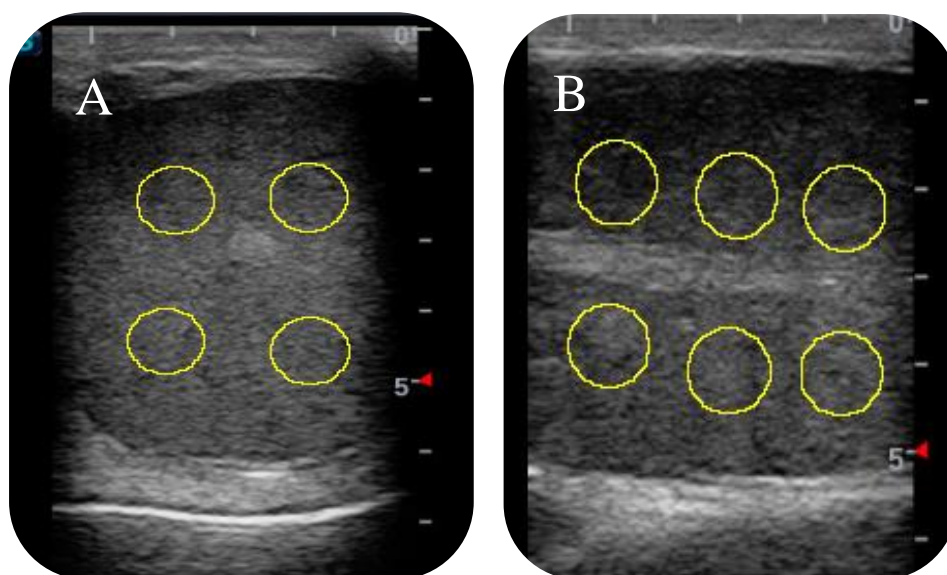


Figura 10. Áreas evaluadas de ultrasonografía de manera transversal (A) y vertical (B), por medio del programa ImageJ.

3.3.10. *Análisis de semen asistido por computadora (CASA)*

Una muestra de eyaculado fue obtenida al final del periodo de experimentación (día 86) mediante un electroeyaculador (Pulsator IV) utilizando los ajustes predeterminados. Para evitar contaminación, previo a la toma de muestras se eliminó el exceso de suciedad y de pelo en el área del prepucio (Figura 12). Utilizando el ubo y cono colector, se procedió a coleccionar solamente la fracción rica en espermatozoides y evitando la fracción seminal.



Figura 11. Limpieza del área del prepucio, previo a la colección de la muestra



Figura 12. Electroeyaculador Pulsator IV, utilizados en becerros de experimento.

Después de la colección, el eyaculado fue diluido a una relación 1:1 utilizando Triladyl® (especificaciones del producto) como diluyente, preparado en base a las especificaciones mismas del producto. Las muestras diluidas fueron trasladadas en refrigeración hacia las instalaciones Centro de Biotecnología Reproductiva (CBR), de la Unión ganadera regional de Nuevo León, ubicado en General Bravo, Nuevo León. Mediante un análisis automatizado (CASA SCA®) utilizando el software Sperm Vision® el eyaculado fue analizado en base al volumen (ml), concentración, motilidad, y morfología. Para obtener una medición certera de dichos parámetros, las muestras de eyaculado altamente concentradas fueron nuevamente diluidas a una relación 1:10 o 1:20, como fuera requerido, con el mismo diluyente previamente calentado (39°C).

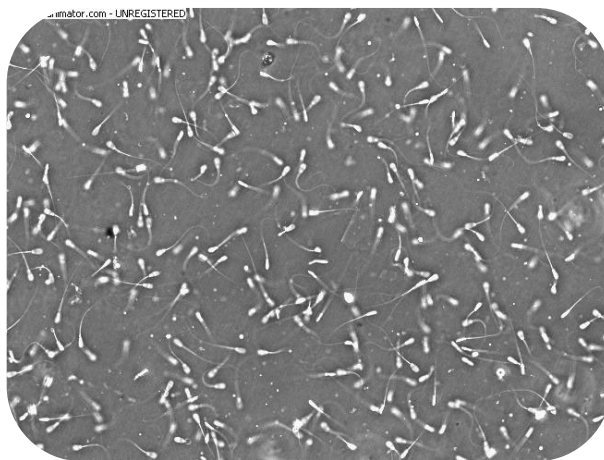


Figura 13. Captura de muestra de eyaculación tomada desde el sistema CAS.

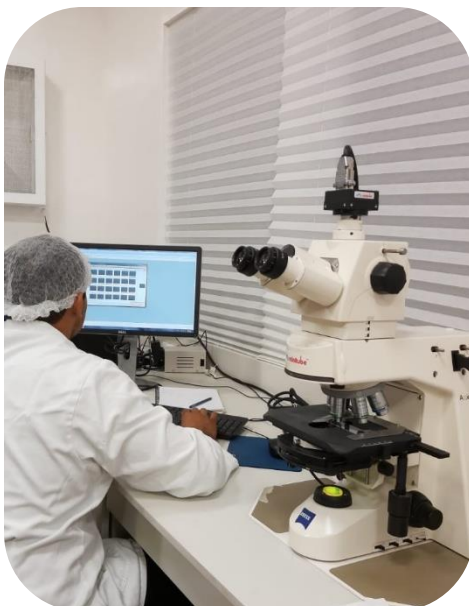


Figura 14. Análisis de calidad de semen en el Centro de Biotecnología Reproductiva

3.4. Análisis estadístico

Para el análisis de datos se utilizó un diseño de bosques al azar, con un arreglo factorial 2 x 2, teniendo así cuatro tratamientos en el estudio; T1: Raza Simmental con BM, T2: Raza Simmental con AM, T3: Raza Simbrah con BM, y T4: Raza Simbrah con AM. Los datos obtenidos para las variables fueron analizados por medio del Software Minitav (2017), utilizando el siguiente modelo estadístico; $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$; donde Y_{ij} = observación del tratamiento i en la repetición j ; μ = media general; τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento; β_j = efecto del j -ésimo bloque; e_{ij} = error experimental de la ij -ésima observación. Se tomó en cuenta un nivel de significancia de 0.05 para encontrar una diferencia significativa entre los tratamientos. Cuando existió algún efecto entre los tratamientos y su interacción, las medias fueron comparadas con la instrucción `adjust = tukey` con un nivel de significancia de 0.05.

4. RESULTADOS

4.1. Calidad del agua

Los resultados de los parámetros para determinar la calidad del agua de bebida ofrecida en el estudio se muestran en el Cuadro 3. Según el análisis realizado, las concentraciones de SDT se encuentran por debajo del nivel crítico de tolerancia teniendo niveles de 2542.25.

Los macrominerales (Ca, Na, MG, K,) se encuentran en concentraciones altas, sin embargo, se mantienen aún por debajo de los límites de tolerancia (468, 77, 311, 7 ppm).

La calidad de agua de bebida se encuentra comprometida debido a las altas concentraciones de Sulfatos (365 ppm), Cloruros (901 ppm), y Nitratos (117 ppm), que están presentes disueltos en el agua. Además de concentraciones de Azufre (122.10 ppm) cercanas al nivel crítico de tolerancia.

Cuadro 3. Análisis fisicoquímico y mineral del agua de bebida.

Análisis	Resultados	Metodología	Observaciones y Límites
CE A 25°C μ S	4,154	Conductimetría	Agua de salinidad muy alta
pH	6.75	Potenciometría	Ligeramente Ácido
Sólidos Disueltos Totales mg/l	2542.25	Calculado	Buena
Dureza	148.25	Calculada	Muy dura
Cationes	ppm		
Calcio (Ca)	468.30	ICP-OES	500 ppm
Magnesio (Mg)	77.36	ICP-OES	125 ppm
Sodio (Na)	311.20	ICP-OES	300 ppm
Potasio (K)	7.18	ICP-OES	20 ppm
Suma de cationes	864.04		
Aniones	ppm		
Carbonatos (CO_3)	0.00	Titulación	Alcalinidad
Bicarbonatos (HCO_3)	297.64	Titulación	($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) 2000 ppm
Cloruros (Cl^-)	901.00	Argentometría	300 ppm
Sulfatos (SO_4)	365.79	Calculado	500 ppm
Azufre (S) de sulfatos	122.10	ICP-OES	170 ppm
Fosfatos (PO_4)	0.16	Calculado	2.15 ppm
Fosforo (P) de los fosfatos	0.05	ICP-OES	0.7 ppm
Nitratos (NO_3)	117.44	Calculado	100 ppm
Nitrógeno de nitratos (N- NO_3)	26.53	Espectrometría UV	23 ppm
Suma de aniones	1682.03		
Minerales traza	ppb		
Fierro (Fe)	2.45	ICP-OES	300 ppb
Manganeso (Mn)	0.36	ICP-OES	50 ppb
Zinc (Zn)	24.68	ICP-OES	2500 ppb
Cobre (Cu)	12.58	ICP-OES	500 ppb
Minerales tóxicos	ppb		
Plomo (Pb)	N/D	ICP-OES	50 ppb
Arsénico (As)	10.45	ICP-OES	200 ppb
Molibdeno (Mo)	82.96	ICP-OES	70 ppb

4.2. Comportamiento productivo

Las variables evaluadas para el comportamiento productivo de becerros bajo una suplementación de bajas y altas concentraciones de microminerales en la dieta, son presentados en el Cuadro 4. Se muestran los valores de ganancia diría de peso (GDP), consumo de materia seca (CMS), conversión alimenticia (CA), consumo residual de alimento (RFI), marmoleo (Mam), área del ojo del lomo (AOL), grasa intramuscular (GI), grasa dorsal (GD), y grasa de la cadera (GC).

En el modelo estadístico planteado se obtuvo lo siguiente: Rechazo de la hipótesis nula basada en el valor de probabilidad ($p < 0.05$) a un nivel de significancia determinado ($\alpha = 0.05$). En base al modelo, existió una diferencia significativa ($p < 0.05$) en la GDP entre las dietas ofrecidas, siendo mayor para los animales bajo una suplementación de altas concentraciones de minerales.

La evaluación de la CA de la misma manera mostró una diferencia ($p < 0.05$) entre las dietas ofrecidas, siendo mayor para los animales bajo una suplementación de bajas concentraciones de microminerales. Además, se obtuvo diferencia significativa en la grasa de la cadera entre las razas utilizadas en el estudio, siendo mayor para la raza Simbrah con un grosor de 0.11 in, que la de becerros de la raza Simmental 0.07 in.

El aumento de concentraciones de microminerales en la dieta, tendió a disminuir el consumo de materia seca y el consumo residual de alimento, sobre animales que mantenían concentraciones bajas en la dieta, sin embargo, esta diferencia no llegó a ser significativa, al igual que las variables de calidad de la canal, AOL, GD, GI, en las cuales la dieta no obtuvo un efecto.

Cuadro 4. Desempeño productivo y comportamiento de la canal.

Variable ¹	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	Valor P		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
GDP (kg)	1.19 ^b	1.33 ^a	0.04	1.30	1.22	0.04	0.046	0.244	0.889
CMS (kg)	8.35	7.64	0.39	8.11	7.88	0.29	0.749	0.739	0.650
CA (kg)	7.24 ^a	6.19 ^b	0.49	6.57	6.86	0.49	0.043	0.572	0.609
RFI (kg)	0.04	-0.38	0.27	-0.21	-0.12	0.27	0.126	0.760	0.378
Marmoleo	4.17	4.14	0.05	4.10	4.22	0.05	0.147	0.765	0.600
AOL (in ²)	8.91	9.70	0.30	9.41	9.21	0.30	0.080	0.656	0.460
GI (%)	2.68	2.51	0.18	2.49	2.70	0.14	0.37	0.14	0.98
GD (in)	0.10	0.09	0.00	0.09	0.10	0.00	0.484	0.437	0.608
GC (in)	0.09	0.10	0.01	0.07 ^b	0.12 ^a	0.01	0.637	0.021	0.858

¹GDP, ganancia diaria de peso; CMS, consumo de materia seca; CA, conversión alimenticia; RFI, consumo residual de alimento; AOL, área del ojo de lomo; GI, grasa intramuscular; GD, grasa dorsal; GC, grasa de la cadera.

²BM: bajas concentraciones de microminerales; AM: altas concentraciones de microminerales.

³EE: Error estándar.

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b}Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

4.2.1 Concentraciones de microminerales en suero

Los resultados de las concentraciones microminerales Cu y Zn en suero de los becerros utilizados en el estudio se muestran en el Cuadro 5. Los niveles de minerales en suero no se vieron afectados por las concentraciones de microminerales en la dieta. De la misma manera, no se mostró influencia de las razas utilizadas en el estudio sobre las concentraciones de microminerales en suero.

Cuadro 5. Concentraciones de minerales en suero bovino

	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	P-Values		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
Toma 1 ¹									
Cobre	2.46	2.04	0.63	1.92	2.57	0.63	0.644	0.473	0.154
Zinc	10.21	16.67	2.97	15.43	11.45	2.97	0.136	0.352	0.028
Toma 2									
Cobre	1.17	1.69	0.39	1.70	1.16	0.39	0.364	0.354	0.269
Zinc	9.19	10.53	2.27	8.65	11.07	2.27	0.682	0.463	0.797
Toma 3									
Cobre	2.51	1.78	0.49	2.08	2.21	0.49	0.304	0.863	0.924
Zinc	35.16	25.71	7.06	36.05	24.82	7.06	0.353	0.271	0.768
Toma 4									
Cobre	1.45	0.85	0.26	1.22	1.09	0.26	0.124	0.731	0.603
Zinc	17.19	4.92	4.57	11.70	10.41	4.57	0.074	0.844	0.900
Toma 5									
Cobre	1.602	1.685	0.22	1.78	1.50	0.22	0.796	0.379	0.072
Zinc	12.86	10.90	3.53	12.35	11.41	3.53	0.698	0.853	0.194

¹Toma 1: día 10 del estudio; Toma 2: día 17 del estudio; Toma 3: día 31 de estudio; Toma 4; día 45 del estudio; Toma 5: día 59 del estudio.

²BM: bajas concentraciones de microminerales; AM: altas concentraciones de microminerales.

³EE: Error estándar.

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b} Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

4.3. Variables reproductivas

4.3.1 Circunferencia escrotal

En el Cuadro 6 se presenta las medidas de circunferencia escrotal de los becerros Simmental y Simbrah en diferentes periodos de tiempos del estudio. La primera toma fue realizada en el día 17 del experimento, en el cual se mostró una tendencia altamente significativa ($p < 0.000$) en las medias entre los grupos BM (25.1 cm) y AM (30 cm) desde el inicio del estudio hasta finalizar la evaluación. El grupo de animales con altas concentraciones de microminerales se mantuvo con una mayor medida de C.E. en comparación al grupo de bajas concentraciones en el periodo experimental.

Dentro de las razas utilizadas en el estudio se mostró una diferencia significativa ($p < 0.00$) en su media de circunferencia escrotal. Los becerros de la raza Simmental mantuvieron una mayor C. E sobre los becerros de la raza Simbrah durante las tomas realizadas en los días 17, 31, 45, 59, 73 y 80 del estudio.

Cuadro 6. Circunferencia escrotal de becerros Simmental y Simbrah.

Días ¹	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	Valor P		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
17	25.1 ^b	30.0 ^a	0.55	28.3 ^a	26.1 ^b	0.55	0.000	0.000	0.558
31	26.6 ^b	31.2 ^a	0.65	30.3 ^a	26.6 ^b	0.65	0.000	0.004	0.249
45	27.6 ^b	31.8 ^a	0.65	30.9 ^a	28.5 ^b	0.65	0.000	0.015	0.461
59	28.3 ^b	32.1 ^a	0.63	31.5 ^a	28.3 ^b	0.63	0.006	0.000	0.465
73	29.8 ^b	33.1 ^a	0.52	32.8 ^a	30.0 ^b	0.52	0.000	0.001	0.944
80	30.3 ^b	34.4 ^a	0.54	33.7	31.0	0.54	0.000	0.001	0.920

¹Días del estudio en que fue realizada la toma

²BM: bajas concentraciones de microminerales; AM: altas concentraciones de microminerales.

³EE: Error estándar

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b}Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

4.3.2. Evaluación del eyaculado

Los resultados correspondientes a la evaluación del eyaculado se muestran en el Cuadro 7. No se obtuvieron diferencias significativas en ninguno de los parámetros espermáticos analizados para las diferentes dietas y razas.

Cuadro 7. Evaluación del eyaculado de becerros Simmental y Simbrah.

Variable ¹	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	Valor P		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
Volumen (ml)	1.37	2.01	0.52	1.98	1.40	0.52	0.239	0.277	0.763
Conce. (millones spz/ml)	41.7	75.0	30.0	60.3	56.3	29.59	0.273	0.894	0.445
Mot. en masa (%)	61.9	69.4	9.46	66.9	64.4	9.46	0.439	0.799	0.171
Mot. progr(%)	45.5	56.3	11.8	54.2	47.6	11.75	0.368	0.579	0.254
Mot. no progr. (%)	16.37	13.03	3.08	12.65	16.75	3.08	0.474	0.380	0.905
Sin motilidad (%)	37.91	30.37	6.45	32.74	35.55	6.45	0.440	0.772	0.178
Espe. Viables (x 10 ⁹)	0.08	0.22	0.15	0.15	0.15	0.15	0.338	0.976	0.447
Espe. no viables (x 10 ⁹)	0.03	0.11	0.05	0.09	0.05	0.05	0.344	0.668	0.951
Cabeza (%)	5.22	13.5	6.18	11.2	7.43	6.18	0.197	0.541	0.590
Cola (%)	4.39	5.75	2.75	4.97	5.17	2.76	0.630	0.941	0.721

¹Conce: concentración espermática; Mot. Basal: Motilidad basal; Mot. Progr: Motilidad progresiva; Mot. no prog: motilidad no progresiva; Espe. Viables: espermatozoides viables; Esper. no viables: espermatozoides no viables; Cabeza; anormalidad de cabeza de los espermatozoides; Cola: anormalidades de cola de los espermatozoides.

²BM: bajas concentraciones de microminerales; AM: altas concentraciones de minerales.

³EE: Error estándar

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b} Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

4.3.3 Evaluación del parénquima testicular

Se observó un aumento gradual en la intensidad de píxeles (PI) del parénquima testicular durante el periodo de evaluación, tanto en los animales recibiendo las diferentes dietas, así como en las diferentes razas (Cuadro 8). Dicho aumento fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en animales recibiendo la dieta AM (AM; 47.5, 65., y 65 vs. BM; 40.7, 49.2 y 54.3). Considerando las razas, PI del parénquima testicular fue significativamente

mayor ($P > 0.05$) en becerros Simmental (50.9, 71.3 y 68.0) que en Simbrah (37.3, 43.6 y 51.5).

Se observó una interacción significativa entre las diferentes dietas ofrecidas y la raza de los becerros en el PI del paren química testicular en los días 31 y 46 del periodo de estudio. Sin embargo, en la Figura 1a, se puede observar que los becerros de la raza Simmental, no fue afectado por las concentraciones de microminerales en la dieta ($p > 0.05$), mientras que la PI de los becerros Simbrah aumentó ($p < 0.05$) en una mayor concentración de microminerales en la dieta. En el día 46 del estudio (Figura 1b), se puede observar que el PI aumento ($p < 0.05$), con una mayor concentración de microminerales en la dieta en ambas razas.

Cuadro 8. Desarrollo testicular medido mediante ultrasonido de tratamiento de Simmental y Simbrah, con bajos y altas concentraciones de microminerales en la dieta.

Días	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	Valor P		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
31	40.7 ^b	47.5 ^a	1.49	50.9 ^a	37.3 ^b	1.49	0.001	0.000	0.000
46	49.2 ^b	65.7 ^a	1.44	71.3 ^a	43.6 ^b	1.44	0.000	0.000	0.000
59	54.3 ^b	65.0 ^a	1.19	67.7 ^a	51.5 ^b	1.19	0.000	0.000	0.210

¹Días del estudio en que fue realizada la toma

²BM: bajos requerimientos de minerales; AM: altas concentraciones de minerales.

³EE: Error estándar

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b}Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

Figura 1. Intensidad de pixeles (PI) al día 31 (a) y 46 (b) en becerros Simmental y Simbrah, recibiendo una dieta de concentraciones bajas de minerales (BM) y altas (AM) de minerales.

4.3.4 Concentraciones de testosterona en plasma bovino

Las concentraciones de testosterona en plasma incrementaron de manera gradual durante los primeros 31 días del periodo de experimentación en todos los animales independiente de la dieta consumida. Los animales que consumieron la dieta BM alcanzaron un pico máximo de 4.8 ng/ml al día 31 del periodo de experimentación, concentración que fue similar ($p > 0.05$) a los animales consumiendo la dieta AM (4.7 ng/ml). Posteriormente, al día 45, la concentración de testosterona en el grupo BM disminuyeron a 2.8 ng/ml, mientras que los animales consumiendo la dieta AM alcanzaron un pico máximo de 6.6 ng/ml ($p < 0.05$). Posteriormente, las concentraciones de testosterona disminuyeron a niveles de 3.1 y 4.1 ng/ml en BM y AM, respectivamente ($p > 0.05$). Al día 17 la concentración de testosterona para becerros Simmental fueron significativamente mayor que las obtenida en becerros Simbrah (4.5 vs. 2.4 ng/ml, respectivamente; $p < 0.05$). Posteriormente, las concentraciones de testosterona entre ambas razas incrementaron de manera gradual durante los siguientes dos periodos de muestreo ($p > 0.05$). Hacia el final del periodo de muestreo (día 59), las concentraciones de testosterona entre ambas razas disminuyeron a niveles de 3.4 y 4.5 ng/ml, en becerros Simmental y Simbrah, respectivamente ($p > 0.05$).

Cuadro 9. Concentraciones de testosterona en plasma bovino.

Días ¹	Concentración ²		EE ³	Raza ⁴		EE ³	Valor P		
	BM	AM		SL	SH		CM	Raza	CM*RA
10	2.79	2.33	0.50	3.10	2.03	0.50	0.523	0.145	0.095
17	3.62	3.35	0.59	4.58 ^a	2.40 ^b	0.59	0.750	0.015	0.299
31	4.80	4.76	1.17	5.58	3.98	1.17	0.978	0.347	0.829
45	2.87 ^b	6.65 ^a	0.80	4.09	5.43	0.80	0.003	0.252	0.429
59	3.11	4.19	0.75	3.46	4.55	0.75	0.103	0.323	0.321

¹Días del estudio en que fue realizada la toma

²BM: bajos requerimientos de minerales; AM: altas concentraciones de minerales.

³EE: Error estándar

⁴SL: raza Simmental; SH: raza Simbrah.

^{a,b}Media en filas y con diferente superíndice son diferentes significativamente ($p < 0.05$).

5. DISCUSIÓN

5.1 Calidad del agua de bebida

En explotaciones ganaderas, la fuente de agua de bebida más común son los pozos, los cuales regularmente son proporcionados en baja cantidad y calidad de agua, sin embargo, esto puede depender de otros aspectos. Por ejemplo, los pozos con mayor profundidad de agua tienden a tener mayores concentraciones de minerales, mientras que pozos de menor profundidad llegan a contener mayor concentración de nitrato y/o bacterias coliformes (Carson, 2000).

Los resultados en el análisis de calidad del agua de bebida utilizada en el presente estudio (Cuadro), mostraron una cantidad de 2542 SDT, a lo cual diferentes autores mencionan no llegar a presentar problemas de salud y/o rendimiento significativo en animales que ingieren concentraciones de 1000-5000 mg de SDT (Carson, 2000).

Sin embargo, Challis et al. (1987) presentaron un incremento del 37% en el consumo de agua, y menor consumo de alimento en vacas Holstein, al ser abastecidas con agua de 4300 mg/l de SDT. Similar a lo mencionado por la NRC (1996), el ganado de carne puede consumir involuntariamente agua de baja calidad, dando como resultado un menor consumo de materia seca, teniendo así un menor rendimiento de productividad del ganado.

Patterson et al. (2003) mostraron mayor consumo de alimento de 9.4 y conversión alimenticia de 8.6 kg en novillos en crecimiento, bajo un suministro de agua con concentraciones de 400 ppm de sulfatos, similar a esto, en el presente estudio se utilizó agua con concentraciones de 366 ppm de sulfatos, con la cual se obtuvo un consumo de alimento de 8.08 kg, y una conversión alimenticia de 6.82 kg.

5.2 Desempeño productivo de los becerros Simmental y Simbrah.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de los becerros Simmental y Simbrah del presente estudio, mostraron una diferencia significativa ($p < 0,05$) en la GDP y CA en animales que se encontraban bajo una dieta con altas concentraciones de microminerales, de esta manera se corrobora con el estudio de Ward & Spears (1997), en que el cual obtuvieron

una diferencia significativa de GDP y CA en ganado suplementado con concentraciones de 5 mg/kg de Cu en la dieta.

Ahola et al. (2005) informaron resultados similares en el desarrollo de becerros en su primer año, bajo una suplementación de microminerales inorgánicos en la dieta, (GDP 1.46 kg) sin embargo, estos resultados no fueron significativamente diferentes entre sus tratamientos. Por otro lado en el estudio de Malcolm-Callis et al. (2000) mostraron una disminución en el CMS al añadir concentraciones de 100 y 200 mg/kg de Zn en la dieta para ganado bovino, así como en el presente estudio con una diferencia numérica.

Manzanres-Miranda et al. (2015) obtuvieron un mayor aumento de peso por parte de la raza Simmental sobre la raza Simbrah en la etapa de finalización del estudio, similar a esto, en el estudio presente se vio reflejado un aumento de peso mayor de por parte de la raza Simmental vs la raza Simbrah, sin efecto del tratamiento sin embargo esta diferencia no fue significativa.

Mismos autores Manzanres-Miranda et al. (2015) al evaluar el desarrollo de los becerros Simmental y Sumbrah no encontraron diferencia significativa ($p > 0.05$) en variables de la canal de los becerros; grasa intramuscular, grasa dorsal de los becerros. Al igual que en el estudio presente no hubo influencia por el tratamiento y/o raza utilizada para estas variables. Esto concuerda con los resultados de Legleiter et al. (2005) al no mostrar diferencias en las características de la canal de toros Angus, al estar suplementado con Mn en la dieta.

Sin embargo, en el presente estudio existió una diferencia ($p < 0.05$) entre la grasa de la cadera de los animales, siendo mayor en el ganado de la raza Simbrah que en la raza Simmental. Esto concuerda con distintos autores, que obtuvieron un mayor rendimiento de la canal en toro de la raza Simbrah vs algunos becerros de razas puras (Rhoads et al., 2003; Bidner et al., 2002).

Las concentraciones de Zn y Cu en suero entre los grupos experimentales, no difirieron. Se mostró una tendencia numérica entre los grupos BM y AM, siendo mayores las concentraciones de Cu en suero en los animales que se encontraban bajo una dieta con altas concentraciones. Sin embargo, las concentraciones de Cu en ambos grupos se matuvieron por encima de concentraciones deficientes ($< 0.06 \mu\text{g/ml}$) según Millis, (1987). Similar a esto, Solaiman et al. (2001) no obtuvieron diferencia significativa en las concentraciones de Cu en plasma de cabras, al aumentar las concentraciones de Cu (50-600 mg/d) en la dieta.

Nuestro estudio corrobora con lo mencionado por Ward et al. (1993) que a pesar de haber variaciones en los niveles de Cu en sangre al suplementar al ganado, no necesariamente se debe a la dieta, ya que al aumentar las concentraciones de Cu en la dieta, no siempre aumenta las niveles de Cu en sangre, esto debido a los mecanismos de la homeostasis.

En cuanto a diferentes autores, la mayoría han concluido que la suplementación de altas concentraciones de microminerales en la dieta para ganado joven, no influye en su rendimiento durante su crecimiento (Ward et al., 1993; Engle & Spears 2000).

Sin embargo, distintos autores afirman un mejor desarrollo de los animales bajo una suplementación de microminerales adecuada según a su etapa fisiológica, que pudiera mejorar su calidad de la canal (Roads et al., 2003; Rust & Schlegel 1993; Nunnery et al., 1996).

5.3 Desempeño reproductivo de los becerros Simmental y Simbrah.

Las evaluaciones de parámetros reproductivos en becerros de carne, generalmente se realizan en toros de un año en adelante. Al realizar esta evaluación en becerros más jóvenes posiblemente no obtengan buenos resultados, sin embargo, los toros que fallan en las pruebas de reproducción, es posible corregir y aumentar su desempeño reproductivo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es evaluar una alternativa que podría apresurar la pubertad y madurez sexual en novillos.

Nuestros resultados muestran una diferencia significativa entre los grupos BM y AM, en el desarrollo de la circunferencia escrotal, sin embargo, se cree que los animales de ambos grupos cumplan sus requerimientos nutricionales, bajo una dieta basal y suplementación mineral, debido a sus mediciones de C.E entre los grupos experimentales. Los becerros de circunferencia escrotal para la raza Simmental mostraron un desarrollo testicular temprano a diferencia de la raza Simbrah, su desarrollo testicular fue óptimo, según Neto et al. (2011) en el cual, menciona el desarrollo escrotal de becerros de la raza Simmental de 26.90 cm para la pubertad y 34.88 cm para la madurez sexual, lo cual corrobora con los autores donde mencionan que la circunferencia escrotal se encuentra altamente relacionada con la raza. Debido a esto, se corrobora con estudios previos donde mencionan un desarrollo escrotal a temprana edad de toros de la raza Simmental vs otras razas Coulter y Keller, (1981).

Debido a la edad de los animales, y la dificultad de obtener muestra de semen repetidas veces, no se cuenta con más evaluaciones de calidad de semen. Se logró obtener una muestra del eyaculado en cada uno de los animales. Algunos toros no lograron obtener espermatozoides en su eyaculación, los cuales fueron descartados para esta prueba.

Los variables utilizadas para evaluar la calidad de semen producido por los toros utilizados en el estudio, no obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos utilizados ($p > 0.05$). Existió una diferencia numérica en la concentración espermática del eyaculado y en la motilidad de los espermatozoides, siendo mayor en animales del grupo AM, y el grupo de animales de la raza Simmental, sin embargo, esto no llegó a ser significativo. Similar a esto, en el estudio T.W. Geary et al. (2016) no encontraron efecto de la suplementación micromineral en la calidad de semen evaluado de becerros Herford.

Según distintos estudios el inicio de la pubertad es definida como la primera colecta de semen con concentración de 50×10^6 de espermatozoides, con al menos 10% de motilidad progresiva (Lunstra et al., 1978; Wolf et al., 1995; T.W. Geary et al. 2016). En base a esto, ambas razas utilizadas en el estadio (Simbrah y Simmental), alcanzaron su pubertad en el periodo de investigación teniendo, al igual que el grupo AM teniendo como resultado 75×10^6 de concentración espermática y 56% de motilidad progresiva, sin embargo, el grupo BM (bajas concentraciones de microminerales) no llegó a cumplir estos parámetros reproductivos.

La evaluación para anomalías en los espermatozoides se clasificó según Barth y Oko (1989), en la cual incluye proximales, distales, cola enrolladas y dobladas, además de anomalías diversas. Los resultados obtenidos en este estudio no obtuvieron una diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, el grupo AM obtuvo mayores porcentajes de anomalías en cabeza (13.47%) y cola (5.75%) de espermatozoides, sobre animales del grupo BM que obtuvieron 5.22% de cabeza y 4.39% de cola.

Los animales del grupo BM alcanzaron su punto máximo de concentración de testosterona en el día 31 del estudio con una media de 4.80 ng/ml, sin embargo, el grupo AM obtuvo su punto máximo posteriormente en el día 45 con una media de 6.65 ng/ml siendo mayor que el grupo de bajas concentraciones de microminerales.

Sin embargo, al concluir el estudio no se presentó alguna diferencia entre la suplementación de microminerales y razas utilizadas en el estudio. De la misma manera T.W.

Geary et al. (2016), no presento diferencias en las concentraciones de testosterona en animales de 8 meses de edad suplementados con microminerales teniendo una media de 4.08 ng/ml.

La evaluación de la ecogenicidad de los testículos con el uso de un ultrasonido se ha visto como una práctica eficiente para conocer las capacidades reproductivas de los becerros a temprana edad (Tomlinson et al., 2017).

T.W. Geary et al. (2016) menciona que el uso de una suplementación de microminerales, puede llegar acortar la pubertad de los becerros acelerando a su madures sexual.

6. CONCLUSIONES

7. REFERENCIAS

- A. K. Singh S. K. Rajak, Priaranjan Kummar, Shilpi kerketta and R. K. Yogi (2018). Nutrition and bull ertility: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6, pp. 635-643.
- A. R. Rhoads T. L. Stanton, Pas, T. E. Engle, Pas, and C. V. Kimberling (2003). Effects of Concentration and Source of Trace Minerals on Performance, Immunity, Mineral and Lipid Metabolism, and Carcass Characteristics of Beef Steers. *The Professional Animal Scientist* 19 , pp. 150-158.
- A. Zini M. A. Fischer, V. Mak, D. Phang, K. Jarvi (2002). Catalase-like and superoxide dismutase-like activities in human seminal plasma. *Urol Res.* 30 , pp. 321-323.
- Amann R. P., J. M. DeJarnette (2012). Impact of genomic selection of AI dairy sires on their likely utilization and methods to estimate fertility: A paradigm shift. *Theriogenology* 77, pp. 745-817.
- Andrews J.C. Nolan J.P., Hammerstedt R.H., Bavister B.D. (1994). Role of zinc during hamster sperm capacitation. *Biol. Reprod.* 51, pp.1238-1247.
- Ansotegui R. P., C. K. Swensen, T. T. Milner, K. S. Bryan, and J. A. Paterson (1994). Effects of chemical form and intake of mineral supplementation on blood profiles and inflammatory reaction to phytohemagglutinin in pregnant heifers. *Proc. West. Section Am. Soc. Animal Science* 45, pp. 222-225.
- Arthington J. D., and F. M. (2002). Effect of corn- vs molasses-based supplements on trace mineral status in beef heifers . *Journal Animal Science* 80 , pp. 2787-2791.
- Arthington J. D., Corah, L. R., Hill, D. A., (2003). Case Study: the effect of dietary zinc level and source on yearling bull growth and fertility. *Prof. Animal Science* 18, pp. 282-285.
- Arthington, J. D. (2005). Effects of copper oxide bolus administration of high level copper supplementation on forage utilization and copper status in beef cattle . *Journal Animal Science* 83, pp. 2894-2900.
- B. D. Voisinet T. Grandin, J. D. Tatum, S. F. O'Connor, J. J. Struthers (1997). Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments . *Journal of Animal Science* 75, pp. 892-896.

- Baccetti B. Pallini V., Burrini A.G. (1976). The accessory fibers of the sperm tail. II. Their role in binding zinc in mammals and cephalopods. *J. Ultrastruct Res.* 54, pp. 261-275.
- Baly D. L., J. S. Schneiderman, and A. L. Garcia-Welsh (1990). Effect of manganese deficiency on insulin binding, glucose. *Journal Nutr.* 120, pp. 1075-1079 .
- Barber S. J. Parker H. M. McDaniel C. D. (2005). Broiler breeder semen quality as affected by trace mineral in vitro. *Poult. Sci.* 84, pp.100-105.
- Barney G. H. Orgebin-Crist M. C., Macapinalac M. P. (1968). Genesis of esophageal paraleratosis and hhistologic changes in the testes of the zinc-deficient rat and theis reversal by zinc repletion . *Jorunal Nutr.* 95, pp. 526-534.
- Barth A. D., (1989). *Abnormal Morphology of bovine Spermatozoa* . Iowa state Universiity Press: Ames, IA.
- Barth, A. D. (2000). The relationship between scrotal circumference at weaning. *Can. Vet. J.* 41, pp. 541-546.
- Barth A. D., Crito, L. F. C., Kastelic, J. P. The (2008). The effect of nutrition on sexual development of. *Theriogenology* 70, pp. 485-494.
- Beatriz L. Vellini. Laura F. Prados, Flavio P. M., Alba K., Falvio D. (2020). Zinc amino acid complex in association with chromium methionine improves the feed efficiency of finished Nellore cattle in the feedlot. *Animal Feed Science and Technology* , 114430.
- Beeson W. M., T. W. Perry, and T. D. Zurcher. (1977). Effects of supplemental zinc on growth and on hair and blood serum levels of beef cattle. *Journal of Animal Science* 45, pp. 160-165.
- Berrett C. J., J. J. Wagner, K. L. Neuhold, E. Caldera, K.S. Sellins and T. E. Engle (2015). Comparison of National Research Council standards and industry dietary trace mineral supplementation strategies for yearling feedlot steers. *Prof. Animal Sience* 31, pp. 237-247.
- Biswajit Roy R. P. S. Baghel, T. K. Mohanty and Hputam Mondal (2013). Zinc and male rerproduction in domestic annimals: A review. *Indian J. Anim. Nutri.* 30 , 339-350.
- Bjorndahl L. Kjellberg S., Roomans G.M., Kvist U. (1986). The human sperm nucleus takes up zinc at ejaculation. *Int. J. Androl.* 9, pp. 77-80.

- Bjorndahl L. Kvist U. (2011). A model for the importance of zinc in the dynamics of human sperm chromatin stabilization after ejaculation in relation to sperm DNA vulnerability . *Sys. Biol. Reprod. Med.* 57, pp. 86-92.
- Boyne R. and J. R. Arthur (1981). Effects of selenium and copper deficiency on neutriphil function in cattle . *Jorunal of Comparative Pathology* 91, pp. 271-276.
- Bradley C. H. (1993). Copper poisoning in a dairy herd fed a mineral supplement. *Can. Vet. J.* 34, pp. 287-292.
- Brandy N. C. (1974). *The nature and properties of soils 8th ed.* . New York : MacMillan Publishing .
- Brjorndahl L. Kvist U. (2010). Human sperm chromatin stalization: a proposed model including zinc bridges . *Mol. Humann Reprod.* 16, pp. 23-29.
- Brown K.M. Arthur JR. (2001). Selenium, selenoproteins and human health: A review. *Public Health Nutr* 4, pp. 593-599.
- Brito Leonardo F. C., Silva E.D.F Antonio, Unanian M. Maria, Dode A. N. Margot, Barbsa T. Rogelio, Jhon P. Kasteli (2004) Sexual development in early- and late- maturing Bos indicus and Bos taurus x Bos taurus crossbred bulls in Brazil. *Theriogenology* 62, pp. 1198-1217.
- C. J. Byrne, S. F. (2018). Plane of nutrition before and after 6 months of age in HolsteinFriesian bulls: I. Effects on performance, body composition, age at puberty, and postpubertal semen production. *Journal Of Dairy Science Vol. 101 No. 4* , pp. 3447-3459.
- C. J. Byrne S. Fair, M. Cirot, C. Staub (1966). Cooperative metabolism of selenium and tellurium in sheep and pigs. *Am.. J. Physiol* 211, pp. 6-10.
- Challis D. J. Zeinstra J. S., Anderson M. J. (1987). Some effects of water quality on performance of high yielding dairy cow . *Vet. Rec.* 120, pp. 12-15.
- Charles O. Abernathy David J. Thomas, Rebecca L. (2003). Health Effects and Risk Assessment of Arsenic. *The Journal Nutriton* 133, pp. 1536-1538.
- Corah L. R. y S. Ives. (1991). The effects of essential trace minerals on reproduction in beef cattle. . *Vet. Clin. N. Am. Food Anim. Pract.* 7, pp. 41-57.

- Coulter G. H. & Keller, D. G.. (1981). Scrotal circumference of young beef bulls: Relationship to paired testis weight, effect of breed, and predictability. *Can. J. Animal Science* 62, pp. 133-139.
- Cunningham G. N., M. B. Wise and E. R. Barrick (1966). Effect of high dietary levels of manganese on the performance and blood constituents of calves. *Journal of Animal Science* 25, pp. 532-538.
- D. A. Kenny K. Keogh, and C. J. Byrne (2018). Effect of early-life nutrition on the molecular and physiological regulation of puberty onset in the bull. *The Professional Animal Scientist* 34, pp. 533-543.
- Davis P. A., L. R. MacDowell, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, R. Van Alstine, R. N. (2006). Effects of selenium levels in ewe diets on selenium in milk and the plasma and tissue selenium concentrations in lambs. *Small Ruminant Research* 65, pp. 14-23.
- Dyer I. A., W. A. Cassatt, and R. R. Rao (1964). Manganese deficiency in the etiology of deformed calves. *BioScience* 14, pp. 31-32.
- E. Gil-Guzman M. Ollero, M.C. Lopez, R.K. Sharma, J.G. Alvarez, A.J. Thomas (2001). Differential production of reactive oxygen species by subsets of human spermatozoa at different stages of maturation. *Hum Reprod* 16, pp. 1992-1930.
- Elbetieha A. Bataineh H., Darmani H. (2001). Effects of long term exposure to chlorides on fertility of male and female mice. *Toxicol letters* 119, pp. 119-193.
- Engle T. E., and J. W. Spears (2000). Effects of dietary copper concentration and source on performance and copper status of growing and finishing steers. *Journal Animal Science* 78, pp. 2446-2451.
- Engle T. E., J. W. Spears, T. A. Armstrong, C. L. Wright, and J. Odle (2000). Effects of dietary copper source and concentration on carcass characteristics and lipid and cholesterol metabolism in growing and finishing steers. *Journal Animal Science* 78, pp. 1053-1059.
- Engle T. E., Separ J. W., Fellner V., and Odle J. (2000). Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. *Journal Animal Science* 78, pp. 2713- 2721.
- Engle T. E. (2011). Copper and lipid metabolism in beef cattle: A review. *Journal Animal Science* 89, pp. 591-596.

- Feng J., and Z. G. Feng (1998). Effect of Mn-deficiency on reproductive performance in egg-laying chickens. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica* 29 , pp. 499-505.
- G. Barroso M. Morshedi , S. Oehninger (2000). Analysis of DNA fragmentation, plasma membrane translocation of phosphatidylserine and oxidative stress in human spermatozoa. *Hum Reprod* 15 , pp. 1338-1344.
- George M. H., C. F. Nockels, T. L. Stanton, and B. Johnson (1997). Effect of source and amount of zinc, copper, manganese, and cobalt fed to stressed heifers on feedlot performance and immune function. *Prof. Animal Science* 13, 84.
- Gong R. M., Zhang, D. M., Zhong, K. D., Feng, M., Liu, X. Y (2008). Determination of trace copper in water samples by flame atomic absorption spectrometry after preconcentration on a phosphoric acid functionalized cotton chelator . *J. Serb. Chem.* 73 (2) , 765-776.
- Gooneratne S. R. H. W. Symonds J. V. Bailey and D. A. Christensen (1994)a. Effects of Dietary copper, molybdenum and sulfur on biliary copper and zinc excretion in Simmental and Angus cattle . *Canadian Journal Animal Science* 74, pp. 315-325.
- Gooneratne S. R. H. W. Symonds, J. V. Bailey and D. A. Christensen (1994) b. Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 69, pp. 919-845.
- Greene, L. W. (1999). Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle . *Journal Animal Science* 77, 1-9.
- Greene, L. W. (2000). Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal of Animal Science* 77, pp. 1-9.
- Gunter T. E., Gavin, C. E., Aschner, M., Guntre, K.K., (2006). Speciation of manganese in cells and mitochondria: a search for the proximate cause of manganese neurotoxicity. *Neurotoxicology* 25 (5), pp. 765-776.
- Hansen S. L., J. W. Spears, K. E. Loyd, and C. S. Whisnant (2006). Feeding a low manganese diet to heifers during gestation impairs fetal growth and development . *Journal of Dairy Science* 89, pp. 4305-4311.
- Hansen S. L., M. S. Ashwell, A. J. Moeser, R. S. Fry, M. D. Kintson and J. W. Spears (2010). High dietary iron reduces transporters involved in iron and manganese metabolism

- and increases intestinal permeability in calves . *Journal of Dairy Science* 93 , pp. 656-665.
- Hapke, H. J. (2000). Effect of drinking water on animals' health: toxicologic health risks. . *Woochenschr* 107 , pp. 335-336 .
- Henkel R. Baldauf C., Bittner J., Weidner W., Miska W. (2001). Elimination of zinc from the flagella of spermatozoa during epididymal transit is important for motility. *Reprod. Technol.* 10 , pp. 6.
- Hidroglou M., J. Proulx, and J. Jolette (1985). Intraruminal selenium pellet for control of nutritional muscular dystrophy in cattle . *Journal of Dairy Science* 68, pp. 57-66.
- Hosnedlova B. Travnicek J., Soch M. (2007). Current view of the significance of zinc for ruminants: a review. *Agricultura tropica et subtropica* 40 , pp. 57-64.
- Hurley L. S., and C. L. Keen (1987). Manganese . En W. Mertz, *Trace Elements in Human and Animal Nutrition vol. 1* (págs. 185-223). New York : Academic Press .
- Ingrid Tortolero Gabriela Arata-Bellabarba, Jesús Osuna, Roald Gómez, Javiel Regadera (2005). Estrés oxidativo y función espermática. Revisión . *Rev. Venez. Endocrinol. Metab.* 3, pp. 12-19.
- Iqra Bano Moolchand Malhi, Pershotam Khatri, Saeed Ahmed Soomro (2019). Effect of Dietary Selenium Yeast Supplementation. *Pakistan J. Zool* 51, pp. 979-988.
- J. G. Alvarez J. C. Touchstone, L. Blasco, B. T. Storey (1987). Spontaneous lipid peroxidation and production of hydrogen peroxide and superoxide in human spermatozoa. Superoxide dismutase as major enzyme protectant against oxygen toxicity. *Journal Androl* 8 , pp. 338-348.
- J. K. Ahola L. R. Sharpe, K. L. Dorton, P. D. Burns, T. L. Stanton (2005). Effects of lifetime copper, zinc, and manganese supplementation and source on performance, mineral status, immunity, and carcass characteristics of feedlot cattle . *The professional animal Scientist* 21, pp. 305-317.
- J. M. Howell G. A. Hall (1970). Infertility associated with experimental copper deficiency in cattle, sheep, Guinea pigs and rats. C. F. Mill (Ed), *Trace element metabolism in animal* , pp. 106-109.
- J. P. Anchordoquy J. M. Anchordoquy, A. M. Pascua, N. Nicoloff, P. Peral Garcia, C. C. (2017). The copper transporter (SLC31A1/CTR1) is expressed in bovine spermatozoa

- and oocytes: Copper in IVF medium improves sperm quality. *Theorlogeny* 97, pp. 124-133.
- J. R. Lagger H. T. Mata, G. H. Pechin, A. T. Larrea, R. N. Otrosky, R. O. Cesan (2000). La importancia de la calidad del agua en producción lechera . *Veterinaria Argentina* 17 (165) , pp. 346-354.
- J. T. Lejeune T. E. Besser, N. L. Merrill, Arroz, D. H., d. D. Hancock (2001). Livestock Drinking Water Microbiology and the Factors Influencing the Quality of Drinking Water Offered to Cattle. *Jornal of Dairy Science* 84, pp. 1856-1862.
- Jenkis K. J., and M. Hidroglou (1991). tolerance of the preminant calf for excess manganse or zinc in milk replacer . *Jpurnal of Dairy Science* 74, pp. 1047-1053.
- Jingjing Xie Chuanhuan Tian, Yongwen Zhu, Liyang Zhang, Lin Lu, and Xugang Luo (2014). Effects of inroganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-relasing horome-I and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens . *Poultry Science* 93, pp. 959-969.
- Joksimovic-Todorovic M., Davidovic, V. Stretenovic L. (2012). The effect of diet selenium supplement on meat quality. *Biotechnol. Anim. Husb.* 28, pp. 553-561.
- Juniper D.T. Phipps R.H., Ramos-Morales E., Bertin G (2008). Effect of dietary supplementation with seleniumenriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beed cattle . *Journal Animal Science* 86, 3100-3109.
- Karl Kerns Miichal zigo, and Peter Sutovsky (2018). Zinc: A Necessary Ion for mammalian sperm fertilization competency . *Int. J. Mol. Science* 19 , pp. 4087.
- Kenny D. A., and C. J. Byrne (2018). The effect of nutrition on timing of pubertal onset and subsequent fertility in the bull. *Animal* 12, pp. 36-44.
- Kessler K. L., K. C. Olsen, C. L. Whrigh, K. J. Austin, P. S. Johnson, and K. M. Cammack (2012). Effects Of supplemental molybdenun on animal performance, liver copper concentrations, ruminal hydrogen sulfide concentrations, and the appearance of sulfur and molybdenum toxicity in steers receiving fiber-based diets . *Journal Animal Science* 90, pp. 5005-5012.
- L. Carson Thomas (2000). Current Knowledge of water quality and safety for livestock. *Veterinary Clinicss of North America: Food Animal Practice* 16, pp. 455-464.

- .S. Hurley C. L. Keen, B. Lonnerdal, and R. B. Rucker (1988). Trace Elements in Man and Animals 6. En G. F. MacPherson A., *Effect of cobalt deficiency on the immune function of ruminants* (págs. 397-398). New York : Plenum Press.
- Lapointe S. Ahmad I., Buhr MM (1996). Modulation of postthaw motility, survival, calcium uptake, and fertility of bovine sperm by magnesium and manganese. *Journal Dairy Sci.* 12 , pp. 2163-2169.
- Lassiter J. W., W. J Miller, F. M. Pate and R. P. Gentry (1972). Effect of dietary calcium and phosphorus on Mn metabolism following a single tracer intraperitoneal and oral doses in rats . *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 139 , pp. 345-348.
- Legleiter L. R., W. Spears, and K. W. Lloyd (2005). Influence of dietary manganese on performance, lipid metabolism, and carcass composition of growing and finishing steers. *Journal Animal Science* 83 , pp. 2434-2439.
- Liepa G. L., D. C. Beitz, and J. R. Linder (1978). Cholesterol synthesis in ruminating and nonruminating goats. *Journal Nutr.* 108, pp. 535-543.
- Lunstra D. D., Ford, J. J., Echternkamp, S. E., (1978). Puberty in beef bulls: hormone concentrations, growth, testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bull of different breeds. *Journal Animal Science* 46, pp. 1054-1061.
- M. E. Tiffany J. W. Spears, L. Xi, J. Horton (2003). Influence of dietary cobalt source and concentration on performance, vitamin B12 status, and ruminal and plasma metabolites in growing and finishing steers. *Journal Animal Science* 81, pp. 3151-3159.
- M. E. Tiffany J. W. Spears (2005). Differential responses to dietary cobalt in finishing steers fed corn-versus barley-based diets. *Journal Animal Science* 83, pp. 2580-2589.
- M. E. Tiffany V. Fellner, and J. W. Spears (2006). Influence of cobalt concentration on vitamin B12 production and fermentation. *Journal of animal science* 84, pp. 635-640.
- MacPherson A. and J. S. Chalmers (1985). Effects of dietary energy concentration on the cobalt/vitamin B12 requirements of growing calves. En I. B. C.F Mills, *Trace Elements in Man and Animals (TEMA 5): Proceedings of the Fifth International Symposium on Trace Elements in Man and Animals* (págs. 145-147). Slough, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux .

- Malcolm-Callis K. J., G. C. Duff, S. A. Gunter, E. B. Kegley, and D. A. Vermeire (2000). Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *Journal Animal Science* 78, pp. 2801-2808.
- Manzanares-Miranda N., Villalon-Mendoza, H., and Moreno-Degollado, G. (2015). Evaluation of prospects cattle stallions of the breed Simmental and Simbrah . *Global Journal of Animal Scientific Research* 3, pp. 57-64.
- Mayland H. F., R. C. Rosenau, and A. R. Florence (1980). Grazing cow and calf responses to zinc supplementation. *Journal of Animal Science* 51, pp. 966-9974.
- Mayland H. F., L. W. Greene, D. L. (1990). A review of Mg in the soil-plant-animal continuum. . *In: Proc. Pacific Northwest Anim. Nutr.*, pp. 29-41.
- McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. . *Animal Feed Science Technology* 60, pp. 247-271.
- McDowell, L. R. (2003). *Minerals in Animal and human Nutrition 2nd Ed.* Florida, EE.UU: Elsevier Science.
- Mehdi Y. Clinquar A., Hornick J., Cabaraux J. F., Istasse L., Dufrasne I (2015). Meat composition and quality of young growing Belgia Blue bulls offered a fattening diet with selenium enriched cereals . *Can J. Anim. Sci.* 95, pp. 465-473.
- Miller W. J., W. J. Pittis, C. M. Ilfton, and J. D. Morton (1965). Effects of zinc deficiency per se on feed efficiency, serum alkaline phosphatase, zinc in skin, behavior greying, and other measurements in the Holstein calf. *Journal of Dairy Science* 48 , pp. 1329-1234.
- Miller, W. J. (1975). New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle: A review. *Journal of Dairy Science* 58 , pp. 1549-1560.
- Morris J. G., W. S. Cripe, H. L. Chapman, Jr, D. F. Walker, J. B. A. Armstrong, J. D. Alexander, Jr., R. Miranda, A. Sanchez, Jr., B. Sanchez, Jr. R. Blair-West, and D. A. Denton (1984). Selenium deficiency in cattle associated with Heinz bodies and anemia . *Science* 223, pp. 491-493.
- N. N. Rawlings ACO Evans, R. K. Chandolia and E. T. Bagu (2008). Sexual Maturation in the Bull . *Reprod. Dom. Anim.* 43 , pp. 295-301.

- National Academies of Sciences, E. a. (1984). *Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, DC.: Natl. Acad. Press.
- National Academies of Sciences, E. a. (2001). *Nutrient requirements of beef cattle* . Washington : NAtional Academy Press.
- National Academies of Sciences, E. a. (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed.* Washington, DC: National Academy Press.
- National Academies of Sciences, E. a. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle: 8th Edition*. Washington, DC: The National Academies.
- Nelson Manzanares Miranda Horacio Villalón Mendoza, Gustavo Moreno Degollado, and Jorge Ramsy Kawas (2015). Meat Production through evaluation of stallion prospects for Simmetanl and Simbrah cattle . *Journal of Agricultural Science and Technology A 5*, pp. 703-708.
- Neto T, M., Fonseca E. C., Oliveira R. P., Facioni S. E., D. A Costa., e. P. Guimaraes (2011). Pubertade e maturidade sexual em touros joens da raca Simmental, criados sob regimen extensivo em clima tripical . *Rev. Bras. Zoot.* 40 , pp. 1917-1924.
- Neville T. L., M. A. Ward, J. J. Reed, S. A. Soto-Navarro, S. L. Julis, P. P. Borowicz, J. B. Taylor (2008). Effects of levels and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ mass, cellulatiry estimates, and jejjunal vascularity in pregnat ewe lambs . *Journal of Animal Science* 86 , pp. 890-901.
- Nunnery G. A., G. E. Carstens, and L. W. Greene. (1996). Feedlot performance and carcass characteristics in steers fed different sources and levels of supplemental zinc. *Journal Animal Science* 74, pp. 294.
- Ott E. A., W. H. Smith, R, B. Harrington, and W. M. (1966). Zinc toxicity in ruminants. II. Efects of high levels of dietary zinc on gains, feed consumption and feed efficiency of beef cattle . *Journal of Animal Science* 25 , pp. 419-423 .
- P. Persie Z. Skalicki, M. M. Petrovie, V. Bogdanovie, D. Ruziec Muslie (2009). Simmental cattle breed in different production systems . *Technology in Animal hustbandry* 25, pp. 5-6.
- Palhares J. C., Morelli, M., Junior, C. C. Impact (2017). Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprint of beef feedlot . *Agric. Syst.* 155, pp. 126-135.

- Pankaj Kumar Brijesh Yadav & Sarvajeet Yadav (2013). Effect of zinc and selenium supplementation on antioxidative status of seminal plasma and testosterone, T4 and T3 level in goat blood serum. *Journal of Applied Animal Reserach* 41, pp. 382-386.
- Park R.M. (2013). Neurobehavioral deficits and parkinsonism in occupations with manganese. *Saf.*, pp. 123-135.
- Patiño P. R., Barragan, H., W., Vergara., O, & Maza, L. (2012). Últimos avances sobre mecanismos reguladores de la absorción de fósforo . *Revista colombiana de Ciencia Animal* 4, pp. 473-497.
- Patterson H. H., P. S. Johnson and W. B. Epperson (2003). Effect of total dissolved solids and sulfates in drinking water for growing steers. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.* 54, pp. 378-380.
- Pérez-Carrera A., Fernandez-Cirelli, A., (2005). Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordona, Argentina . *Jorunal Dairy Res.* 72, pp.122-124.
- Perry T. W., W. M. Beeson, W. H. Smith, and M. T. Mother (1968). Value zinc supplementation of naural rations for fattening beef cattle . *Journal of Animal Science* 27 , pp. 1674-1677.
- Perryman J. E., D. R. Lech, w. C. Davis, W. D. Mickelson, S. R. Heller, H. D. Ochs, J. A. Ellis, and E. Brummerstedt (1989). Lymphocyte alterations in zinc-deficient calves with lethal trait A46 . *Verinary Immunology and Inmmunopathology* 21, pp. 239-245.
- Pierson R. A. Adams G. P. (1995). Computer-assisted image analysis, diagnostic ultrasonography and ovulation induction: strange bedfellows. *Theriogenology* 43, pp. 105-112.
- Pringle W. L., W. K. Dawley, and J. E. Miltimore (1977). Sufficiency of Cu and Zn in barley, forage, and corn silage rations as measured by response to supplements by beef cattle . *Canadian Journal of Animal Science* 53, pp. 497-502.
- R. L. Kincaid, L. E. (2003). Effect of dietary cobalt supplementation on cobalt metablism and performance of dairy cattle. *Journal od Dairy Science* 86, pp. 1405-1414.
- R.J. Aitken M.A. Baker (2004). Oxidative stress and male reproductive biology. *Rerpod Fertil Dev.* 16, pp. 581-588.

- Rahman H., Qureshi M., and Khan R. (2014). Influence of dietary zinc on semen traits and seminal plasma antioxidant enzymes and trace minerals of Beetal bucks. *Reproduction in Domestic Animals* 49 , pp. 1004-1007.
- Rahman M.S., Know, W. S., Pang, M.G. (2017). Prediction of male fertility using capacitation-associated proteins in spermatozoa. *Mol. Reprod. Dev.* 84, pp. 749-759.
- Rawlings N., A. C. O. Evans, R. K. Chandolia and E. T. Bagu. (2008). Sexual maturation in the bull. *Reprod. Domestic Animal* 43, pp. 295-301.
- Rayman, M. P. (2000). The importance of selenium to human health . *Lancet* 356, pp. 233-241.
- Reffett J. K., J. W. Spears, and T. T. Brown, Jr. (1988). Effects of dietary selenium on the primary and secondary immune response in calves challenged with infectious bovine rhinotracheitis virus . *Journal of Nutrition* 118 , pp. 229-235.
- Renad G. Fouilloux, M. N., and Menissier, F. (1998). Genetic improvement of beef production traits by performance testing beef bull in France. *Performance Testing Beef Bulls in France.* " In proceedings of the 6th World congress on genetics applied to livestock production , pp. 77-80.
- Rhoads A. R., T. L. Stanton, T. E. Engle, and C. V. Kimberling (2003). Effects of concentration and source of trace minerals on performance, immunity, mineral and lipid metabolism, and carcass characteristics of beef steers. *Prof. Animal Science* 19 , pp. 150-158.
- Riffo M. Leiva S., Astudillo J. (1992). Effect of zinc on human sperm motility and the acrosome reaction. *Int. J. Androl.* 15, pp. 229-237.
- Rojas M. A., I. A., Diryer, and W. A. Cassatt (1965). Manganese deficiency in the bovine . *Journal Animal Science* 24 , pp. 664-667.
- Rosales-Alday J., Elzo, M.A., Montaña-Bermúdez, M., Vega Murillo, V.E (2004). Genetic parameters and trends for preweaning growth traits in the Mexican Simmental population . *Técnica Pecuaria en México* 42, pp.171-180.
- Rosenfeld I., and O. A. Beath (1964). *Selenium*. New York: Academic Press.
- Rust S. R., and M. L. Schlegel (1993). Effect of dietary zinc level and source on steer intake, growth and carcass characteristics. *Journal Animal Science* 71, pp. 249.

- S. F. O'Connor J. D. Tatum, D. M. Wulf, R. D. Green, and G. C. Smith (1997). Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle . *Journal Animal Science* 75, pp. 1822-1830.
- S. H. Lee T. E: Emgle, and K. L. Hossner (2002). Effects of dietary copper on the expression of lipogenic genes and metabolic hormones in steers. *Journal Animal Science* 80 , pp. 1999-2005 .
- S. Tsunoda N. Kawano , K. Miyado , N. Kimura , J. Fujii (2012). Impaired fertilizing ability of superoxide dismutase 1-deficient mouse sperm during in vitro fertilization. *Biol. Reproduc.* 87, pp. 121-125.
- Sahin K. Sahin N., Kucuk O., Hayirili a., Prasad A. S (2009). Role of dirtary zinc in heat-stresses poultry: A review. *Poultry Science* 88, pp. 2176-2183.
- Sakhaee E. Emadi L., Kheirandish R., Azari O, Abshenas J., Amiri E. (2012). Evaluation of epididymal sperm quality, and histopathological assessment of male reproductive organ, following experimentally induced copper poisoning in male rats . *Andrologia* 44 , pp. 110-116.
- Schwarz F. J., M. Kirchgessner, and G. I. Stangl (2000). Cobalt requirement of beef cattle-feed intake and growth at different levels of cobalt supply . *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 83, pp. 121-131.
- Shabtay Ariel (2015). Adaptive traits of indigenous cattle breeds: The Mediterranean Baladi as a. *Meat Science* 109, pp. 27-39.
- Shalini S. and Bansal, M.P (2007). Alterations in selenium status influences rerproductive potential of male mice by modulation of transcription factor NFKB . *Biometals* 20 , pp. 49-59.
- Shand A., y G. Lewis (1957). Chronic copper poisoning in yung calves . *Veterinary Record* 69 , pp. 618-619 .
- Simone Valente-Campos Douglas J. Spry, Julio Cesar pascale Palhares, Luz Marina Jakomin Rudez, Gisela de Aragao Umbezeiro (2019). Critical issues and alternatives for the establishment of chemical water. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 104 , pp. 108-114 .
- Simoni M. Weinbauer G. F. Gromoll J. and Niedclag E. (1999). Role of FSH in male gonadal fuction. *Annales and Endocrinologie* 60 , pp.102-106.

- Singh J Adams GP, Pierson R. A. (2003). Promise of new imaging technologies for assessing ovarian function. *Anim Reprod Sci* 78 , pp. 371-399.
- Slivkova J., M. Popelkove, P. Massanyi, S. Toporccerova, R. Stawarz, G. formicki, N. Lukac, A. Putala and M. Guzik (2009). Concentration of trace elements in human semen and relation to spermatozoa quality . *Journal Envir. Sci. Health* 44, pp. 370-375.
- Smith, R. M. (1987). Cobalt. En W. Mertz, *Trace Element in Human and Animal Nutrition* (págs. 143-183). New York: Academic Press.
- Spears J., R. W. Harvery and E. C. Segerson (1986). Effects of marginal selenium deficiency on growth, reproduction and selenium status of beef cattle . *Journal of Animal Science* 63 , pp. 586-594.
- Spears J. W., and L. J. Sammsell (1984). Effects of zinc supplementation on performance and zinc status of growing heifers. *Journal of Animal Science* 49 (Supple. 1), pp. 407.
- Spears J. W., and E. B. Kegley (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science* 80 , pp. 2747-2752.
- Spears, J. W. (2003). Trace mineral bioavailability in ruminants . *Journal of Nutrition* 133, pp. 1506-1509.
- Strobel, H. J. (1992). Vitamin B12--dependent propionate production by the ruminal bacterium *Prevotella ruminicola* 23. *App. Environ. Microbiol.* 58, pp. 2331-2333.
- Suleiman A. Okine, E. and Goonewardene, L. A. (1997). Relevance of national research council feed composition tables in Alberta Can. *Journal of Animal Science* 77, pp. 197-2003 .
- Suttle, N. F. (1991). The interactions between copper, molybdenum and sulfur in ruminant nutrition . *Annual Review of Nutrition* 11, pp. 121-140.
- T. D. Bidner W. E. Wyatt, P. E. Humes, D. E. Franke, and D. C. Blouin (2002). Influence of Brahman-derivative breeds and Angus on carcass traits, physical composition, and palatability . *Journal of Animal Science* 80 , pp. 2126-2133.
- T. Kawashima P. R. Henry, C. B. Ammerman, R. C. Littell, J. Price (1997). Bioavailability of cobalt sources for ruminants. ". Estimation of the relative value of reagent grade and feed grade cobalt sources from tissue cobalt accumulation and vitamin B12 concentrations . *Nutr. Res.* 17 , pp. 957-974.

- T. L. Stanton D. Schutz, C. Swenson (2001). Trace Mineral Supplementation in the presence of antagonists on growth performance, health, and carcass characteristics, of transport-stressed calves . *The Professional Animal Scientist* 17 , pp. 101-108.
- T. W. Geary W. L. Kelly, D. D: Spickard, C. K. Larson, E. E. Grings, R. P. Ansotegui (2016). Effect of supplemental trace mineral level and form on peripubertal bulls. *Animal Reproduction Science* 168, pp. 1-9 .
- Tanner R. S. and R. S. Wolfe (1988). Nutritional requirements of Methanomicrobium mobile . *App. Environ. Microbiol.* 54, pp. 625-628.
- Taylor J. B. L. P. Reynolds, d. A. Redmer, and J. S. Caton (2009). Maternal and fetal tissue selenium loads in nulliparous ewes fed supranutritional and excessive selenium during mid-to late pregnancy. *Journal of Animal Science* 87, 1828-1834.
- Tiffany M. E., J. W. Spears, L. Xi, and F. R. Valdez (2002). Effects of dietary cobalt source and concentration on performance, vitamin B12 status, and ruminal and plasma metabolites in growing and finishing steers. *Jorunal Animal Science* 80, pp. 183.
- Tomlinson, M., Jennings, A., Macrae, A., & Truysers, I. (2017). The value of trans-scrotal ultrasonography at bull breeding soundness evaluation (BBSE): The relationship between testicular parenchymal pixel intensity and semen quality. *Theriogenology*, 89, pp. 169–177.
- Underwood, E. J. (1999). *The Mineral Nutrition of livestock 3er ed.* New York: CABI nternational.
- W. E. Wyatt T. D. Bidner, P. E. Humes, D. E. Franke, and D. C. Blouin (2002). Cow-calf and feedlot performances of Brahman-derivative breeds. *Journal Animal Science* 80 , pp. 3037-3045.
- W. Wu Y. Zhang, F. Zhang (1996). Studies on semen quality in workers exposed to mangane and electric welding. *Zhonghua Yu Fang Yi Xuw Za Zhi* 30 , pp. 226-268.
- Waghorn G.C. Sinclair B. R., B. R. Sinclair (1990). Distribution of elements between solid and supernatant fractions of digesta in sheep given six diets . *New Zealand Journal of Agricultural Research* 33, pp. 259-269.
- Walker W. K., and J. M. Elliot (1972). Lactational trends in vitamin B12 status on conventional and restricted-roughage rations. *Journal of Dairy Science* 55, pp. 474-479.

- Waller K. R. Knipp B. S., O'Brien R. T. and Zaqzebski J. A. (2003). The effect of body wall on video signal analysis measurements. *Vet. Radio. Ultrasound* 44, pp. 222-225.
- Walter H. Johnson James A. Thompson, James Kumi-Diaka, James W. Wilton, Iea B. Mandell (1995). The determination and correlation of reproductive parameters of performance-tested Heford and Simmental bulls. *Theriogenology* 44, pp. 973-982.
- Ward J. D., J. W. Spears and G. P. Gengelbach (1995). Differences in copper status and copper metabolism among Angus, Simmental, and Charolais cattle. *Journal Animal Science* 73, pp. 571-577.
- Ward J. D., and J. W. Spears (1997). Long-term effects of consumption of low-copper diets with or without supplemental molybdenum on copper status, performance, and carcass characteristics of cattle. *Journal Animal Science* 75, pp.3057.
- Wenjuan Xun Liguang Shi, Wenbin Yue, Chunxiang Zhang, Youshe Ren, Qiang Liu (2012). Effect of High-Dose Nano-selenium and Selenium-Yeast on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Biol Trace Elem Res* 150, pp.130-136.
- Whitehead D C., Goulden K.M. and Hartley R. (1985). The distribution of nutrient elements in cell wall and other fractions of the herbage of some grasses and legumes. *Journal Science Food Agric.* 36, pp. 311-318.
- William L. Dees Jill K. Hiney, Vinod K Srivastava (2017). Influences of manganese on pubertal development. *Journal of Endocrinology* 235, pp. 33-45.
- Wolf F. R. J. O. Almquist and E. B. Hale (1965). Prepuberal behavior and puberal characteristics of beef bulls on high nutrient allowance. *Journal Animal Science* 24, pp. 761-765.
- Wolf F. R., J. O. Almquist, and E. B. Hale (1995). Prepuberal behavior and puberal characteristics of beef bulls on high nutrient allowance. *Journal Animal Science* 24, pp. 761-765.
- Xiao-fei Liu Li-ming Zhang, hua-nan, Zi-wei Zhang, Shi-wen Xu (2013). Effects of oxidative stress on apoptosis in manganese-induced testicular toxicity in cocks. *Food and Chemical Toxicology* 60, pp.168-176.
- Yuyan Li Junqing Wu, Weijin Zhou, and Ersheng Gao (2012). Effect of manganese on routine semen quality parameters: results from a population-based study in China. *BMC Public Health* 12, pp. 919.